



Skripsi - 141501

**ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA MOTOR DIESEL  
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL *LARD OIL* (B20)  
DENGAN BIOSOLAR PERTAMINA BERBASIS EKSPERIMEN**

Aloysius Prayoga Sidauruk  
4213100112

Dosen Pembimbing 1 :  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing 2 :  
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



THESIS - 141501

# **COMPARATIVE ANALYSIS OF DIESEL ENGINE PERFORMANCE USING BIODIESEL LARD OIL (B20) WITH BIOSOLAR PERTAMINA BASED ON EXPERIMENT**

**Aloysius Prayoga Sidauruk**  
**4213100112**

**Supervisor 1 :**  
**Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.**

**Supervisor 2 :**  
**Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING**  
**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA**  
**2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA MOTOR DIESEL MENGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL *LARD OIL* (B20) DENGAN BIOSOLAR PERTAMINA BERBASIS EKSPERIMEN**

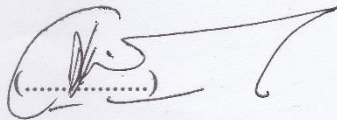
#### **Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**Aloysius Prayoga Sidauruk  
NRP. 4213 100 112**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing 1 :

Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



Surabaya  
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA MOTOR DIESEL MENGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL *LARD OIL* (B20) DENGAN BIOSOLAR PERTAMINA BERBASIS EKSPERIMEN**

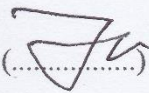
#### **Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem  
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**Aloysius Prayoga Sidauruk  
NRP. 4213 100 112**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing 2 :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D. (.....)  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001

Surabaya  
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA MOTOR DIESEL MENGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL *LARD OIL* (B20) DENGAN BIOSOLAR PERTAMINA BERBASIS EKSPERIMEN**

#### **Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**Aloysius Prayoga Sidauruk**  
**NRP. 4213 100 112**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT**  
**NIP. 1977 0802 2008 01 1007**

Surabaya  
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

### **Abstrak**

Nama Mahasiswa : Aloysius Prayoga Sidauruk  
NRP : 4213 100 112  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing 1 : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

Permasalahan di Indonesia yang dialami pada akhir – akhir ini adalah krisis energi. Sehingga diperlukan suatu energi bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil, seperti contohnya biodiesel *Lard oil*. Dengan biodiesel *Lard Oil*, dilakukan penelitian mencari *properties*, perbandingan uji performansi biodiesel *Lard Oil* dengan bahan bakar Biosolar milik PT. PERTAMINA serta pengaruh Biodiesel terhadap proses pembakaran mesin diesel. Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. *Properties* biodiesel *Lard Oil* sebagian besar memenuhi syarat dari standar biodiesel nasional yang telah ditetapkan. Uji performansi dan proses pembakaran motor diesel dilakukan dengan menggunakan bahan bakar Biosolar, minyak MDO, dan campuran biodiesel B20 (*Lard Oil*) dengan MDO dan B20 (*Lard Oil*) dengan Pertamina DEX. Dari proses penelitian antara uji *properties*, proses pembakaran dan uji performansi, ternyata saling berkaitan antara satu sama lain. Biosolar mengalami prestasi kerja yang lebih bagus dibandingkan dengan B20 MDO maupun B20 DEX. Nilai SFOC paling rendah terdapat pada bahan bakar Biosolar dan minyak MDO. Pada proses penelitian ini, hasil dari performa mesin diesel menggunakan Biodiesel (*Lard Oil*) lebih jelek dari pada Biosolar.

**Keywords :** Biodiesel, *Lard Oil*, *Properties*, Uji Performansi, Proses Pembakaran, Motor Diesel

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

### **Abstract**

Student Name : Aloysius Prayoga Sidauruk  
NRP : 4213 100 112  
Department : Marine Engineering  
Supervisor 1 : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
Supervisor 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

Nowadays, Indonesia is facing the crysis in energy sector. There should be a new renewable energy to substitute fossil fuel such as Lard Oil biodiesel. With Lard Oil biodiesel, the research is to test the properties of the biodiesel, comparison of performance test Lard Oil biodiesel with Biosolar fuel from PT. PERTAMINA and its effect of Biodiesel on diesel engine combustion process by using experimental methods. The Lard Oil's biodiesel properties mostly fulfilled the requirements of the established national biodiesel standards. The performance test and the combustion process of diesel engine were done by using Biosolar fuel, MDO oil, and B20 (Lard Oil) biodiesel mixed with MDO oil and B20 (Lard Oil) with Pertamina DEX. From the research process, between propertiest test, burning process and performance test, were related to each other. Biosolar can could reach better performance than with B20 MDO and B20 DEX. The lowest SFOC values were found in biodiesel fuel and MDO oil. In this experiment, the result of diesel engine performance using Biodiesel (Lard Oil) is more bad than Biosolar.

**Keywords :** Biodiesel, *Lard Oil*, *Properties*, Performance Test, Combustion Process, Diesel Engine

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat karunia dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul **“ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL *LARD OIL* (B20) DENGAN BIOSOLAR PERTAMINA BERBASIS EKSPERIMEN”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar untuk memenuhi syarat demi mendapatkan gelar sarjana penulis.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Albon Sidauruk, Ibu Angelina Marisi Sinaga, S.H., selaku bapak dan mama dari penulis yang selalu memberikan doa, semangat, masukan serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
2. Alnico, Adythia, Averin, selaku abang dan adik dari penulis yang senantiasa menghibur dan memberikan doa serta semangat kepada penulis
3. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Agung Zuhdi Fathallah, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan semangat, arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Mayor Cahya Kusuma dari TNI Angkatan Laut yang telah menyediakan bahan bakar minyak MDO untuk keperluan eksperimen
5. Bapak Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng. selaku dosen wali dari penulis
6. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
7. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Mesin Kapal yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. M. Rachimoellah, Dip. Est. selaku kepala Laboratorium Konversi Energi dan Biomassa Teknik Kimia yang telah mengizinkan penulis menggunakan laboratorium untuk membuat biodiesel
9. Member Lab. Konversi Energi dan Biomassa Teknik Kimia yang telah membantu penulis selama pembuatan biodiesel
10. Teman-teman seangkatan BARAKUDA '13 yang menjadi teman seperjuangan penulis selama di Surabaya dan saling mendukung hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik dan lancar.
11. Maria Dominica Citta selaku sahabat, kekasih dan juga partner penulis yang tak pernah henti memberi semangat dan dukungan untuk lulus bersama
12. Andreas Ari, Aloysius Sihombing, Xaverius Tarigan dan Yoanes Bagus selaku penghuni Kongs Wisma Permai VII/I-9 yang telah menjadi teman serumah penulis selama lebih dari dua tahun, yang saling menyemangati untuk lulus bersama empat tahun
13. Teman-teman “KBC” yang senantiasa menghibur dan menemani penulis dikala penulis sedang jenuh
14. Para sahabat “LIGROHEBAK” selaku orang-orang hebat yang selalu menghibur penulis walaupun terpisah jarak

15. Cella selaku motor penulis yang membantu berakomodasi demi kelancaran pengerjaan skripsi

16. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrak .....	xi
Abstract .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GRAFIK .....	xix
DAFTAR GAMBAR .....	xxi
DAFTAR TABEL .....	xxiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Permasalahan.....	3
1.4. Tujuan Permasalahan .....	4
1.5. Manfaat Penulisan.....	4
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III.....	11
METODOLOGI .....	11
3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	12
3.2. Studi Literatur .....	12
3.3. Persiapan Alat dan Bahan pada Pembuatan Biodiesel.....	12
3.4. Produksi Biodiesel .....	13
3.5. Uji Komposisi .....	13
3.6. Uji Performansi .....	13
3.7. Pengumpulan Data .....	13
3.8. Analisa Data dan Pembahasan .....	13
3.9. Kesimpulan dan Saran .....	13
BAB IV .....	15
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	15
4.1 Produksi Biodiesel .....	15
4.1.1 Produksi Lard oil .....	15
4.1.2 Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi .....	16

4.1.3 Pencucian Biodiesel Lard oil	19
4.2 Properties Biodiesel Lard Oil .....	20
4.2.1 Densitas (Berat Jenis)	21
4.2.2 Viskositas	21
4.2.3 Flash Point (Titik Nyala)	21
4.2.4 Pour Point (Titik Tuang)	21
4.2.5 Lower Heating Value (Nilai Kalor/Panas)	21
4.3 Pengaruh Biodiesel Lard Oil Dalam Uji Performansi Motor Diesel .....	22
4.3.1 Perbandingan Antara Daya Dengan Beban Pada RPM 1800-2000	23
4.3.2 Perbandingan Antara Daya Dengan Beban Pada RPM 2100-2200	24
4.3.3 Perbandingan Antara Torsi Dengan Beban Pada RPM 1800-2000	26
4.3.4 Perbandingan Antara Torsi Dengan Beban Pada RPM 2100-2200	27
4.3.5 Perbandingan Antara BMEP Dengan Beban Pada RPM 1800-2000	29
4.3.6 Perbandingan Antara BMEP Dengan Beban Pada RPM 2100-2200	30
4.3.7 Perbandingan Antara SFOC Dengan Beban Pada RPM 1800 - 2200	32
4.4 Pengaruh Biodiesel Lard Oil Dalam Pengujian <i>Combustion Process</i> .....	34
4.4.1 Analisa Maksimum Pressure Pada Putaran 1800-2200 RPM	35
4.4.2 Analisa Knocking Detection Pada Putaran 1800-2200 RPM	40
4.4.3 Analisa Heat Release Pada Putaran 1800-2200 RPM	45
4.4.4 Analisa Ignition Delay Pada Putaran 1800-2200 RPM	49
BAB V .....	53
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran.....	54
BIODATA PENULIS.....	111

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Antara Daya dengan Beban Pada RPM 1800 .....	23
Grafik 4.2 Perbandingan Antara Daya dengan Beban Pada RPM 2000 .....	23
Grafik 4.3 Perbandingan Antara Daya dengan Beban Pada RPM 2100 .....	24
Grafik 4.4 Perbandingan Antara Daya dengan Beban Pada RPM 2200 .....	25
Grafik 4.5 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban Pada RPM 1800 .....	26
Grafik 4.6 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban Pada RPM 2000 .....	26
Grafik 4.7 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban Pada RPM 2100 .....	27
Grafik 4.8 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban Pada RPM 2200 .....	28
Grafik 4.9 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban Pada RPM 1800 .....	29
Grafik 4.10 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban Pada RPM 2000 .....	29
Grafik 4.11 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban Pada RPM 2100 .....	30
Grafik 4.12 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban Pada RPM 2200 .....	31
Grafik 4.13 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban Pada RPM 1800 .....	32
Grafik 4.14 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban Pada RPM 1900 .....	32
Grafik 4.15 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban Pada RPM 2000 .....	33
Grafik 4.16 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban Pada RPM 2100 .....	33
Grafik 4.17 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban Pada RPM 2200 .....	34
Grafik 4.18 Maksimum Pressure Pada Putaran 1800 RPM Beban 5000 Watt .....	35
Grafik 4.19 Maksimum Pressure Pada Putaran 1900 RPM Beban 5000 Watt .....	36
Grafik 4.20 Maksimum Pressure Pada Putaran 2000 RPM Beban 5000 Watt .....	37
Grafik 4.21 Maksimum Pressure Pada Putaran 2100 RPM Beban 5000 Watt .....	38
Grafik 4.22 Maksimum Pressure Pada Putaran 2200 RPM Beban 5000 Watt .....	39
Grafik 4.23 Knocking Detection Pada Putaran 1800 RPM Beban 5000 Watt .....	40
Grafik 4.24 Knocking Detection Pada Putaran 1900 RPM Beban 5000 Watt .....	41
Grafik 4.25 Knocking Detection Pada Putaran 2000 RPM Beban 5000 Watt .....	42
Grafik 4.26 Knocking Detection Pada Putaran 2100 RPM Beban 5000 Watt .....	43
Grafik 4.27 Knocking Detection Pada Putaran 2200 RPM Beban 5000 Watt .....	44
Grafik 4.28 Heat Release Pada RPM 1800 Beban 5000 Watt .....	45
Grafik 4.29 Heat Release Pada RPM 2000 Beban 5000 Watt .....	46
Grafik 4.30 Heat Release Pada RPM 2100 Beban 5000 Watt .....	47
Grafik 4.31 Heat Release Pada RPM 2200 Beban 5000 Watt .....	48
Grafik 4.32 Ignition Delay Pada RPM 1800 Beban 5000 Watt .....	49
Grafik 4.33 Ignition Delay Pada RPM 2000 Beban 5000 Watt .....	50
Grafik 4.34 Ignition Delay Pada RPM 2100 Beban 5000 Watt .....	51
Grafik 4.35 Ignition Delay Pada RPM 2200 Beban 5000 Watt .....	52

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Populasi Ternak di Indonesia .....	2
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian .....	11
Gambar 4.1 Produksi Lard Oil .....	16
Gambar 4.2 Rangkaian alat. ....	16
Gambar 4.3 Lard oil mentah.....	17
Gambar 4.4 Lard oil ditambah HCl.....	17
Gambar 4.5 Terjadi separasi.....	18
Gambar 4.6 Memindahkan crude biodiesel.....	18
Gambar 4.7 Crude biodiesel. ....	18
Gambar 4.8 Universal Indicator .....	19
Gambar 4.9 Corong pemisah.....	19

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Lemak Babi.....	6
Tabel 4.1 Properties Biodiesel Lard Oil.....	20

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini penggunaan motor diesel sebagai penggerak utama pada suatu kendaraan sudah banyak dipakai terutama untuk penggerak alat berat dan generator. Hal ini disebabkan karena motor diesel memiliki ketahanan dan keandalan yang tinggi dibandingkan dengan motor otto. Oleh karena itu, menggunakan motor diesel sebagai objek penelitian sangatlah tepat dikarenakan di masa mendatang daya saing motor diesel masih baik penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan motor diesel ini tidak lepas dari ketergantungan dalam penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari bahan bakar fosil. Dalam jangka waktu yang lama, penggunaan BBM yang berasal dari bahan bakar fosil ini akan menyebabkan cadangan minyak bumi semakin berkurang. Dari data statistik cadangan minyak bumi Indonesia hanya bertahan 10 tahun kedepan dengan konsumsi bahan bakar minyak masih mendominasi yaitu sebesar 42,99% dari konsumsi energi total (*Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM 2012*). Dalam keadaan seperti ini, diperlukan suatu terobosan untuk menggunakan energi alternatif yang bisa berasal dari biofuel, biomassa dan biogas.

Pemanfaatan biofuel saat ini sudah banyak dikembangkan dan sudah berhasil, salah satunya adalah biosolar yang merupakan campuran bahan bakar fosil yaitu solar dengan minyak nabati yang berasal dari minyak sawit atau crude palm oil (CPO). Indonesia kaya akan bahan baku penghasil biodiesel. Tanaman jarak, kelapa, dan kelapa sawit mempunyai kandungan minyak yang tinggi, yaitu di atas 1600 liter minyak tiap hektar tanaman. Ketiga tanaman tersebut sangat potensial untuk dikembangkan dan digunakan sebagai bahan baku biodiesel karena memiliki kandungan minyak yang tinggi dan tersedia dalam jumlah cukup melimpah. Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati, baik minyak baru maupun bekas penggorengan dan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak (BBM) untuk motor diesel. Bahan bakar yang berbentuk cair ini bersifat menyerupai solar, sehingga sangat prospektif untuk dikembangkan. Apalagi biodiesel memiliki kelebihan lain dibandingkan dengan solar, yakni:

- a) Bahan bakar biodiesel ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah)
- b) *Cetane number* lebih tinggi (>57) sehingga efisiensi pembakaran lebih baik dibandingkan dengan minyak diesel
- c) Memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin dan dapat terurai (*biodegradable*)
- d) Merupakan *renewable energy* karena terbuat dari minyak nabati yang dapat diperbarui/ diproduksi secara terus-menerus
- e) Meningkatkan independensi suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal.

Secara kimiawi biodiesel adalah metil atau etil ester yang diperoleh dari bermacam-macam sumber daya alam yang dapat diperbaharui, seperti minyak tumbuhan atau lemak hewan. Selain biodiesel dapat diperbaharui, penggunaan biodiesel juga mempunyai beberapa keuntungan yaitu lebih efisien, dapat menggantikan petroleum diesel, dapat mengurangi pemanasan global oleh emisi gas, tidak beracun, dan dapat diuraikan secara biologis.

Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk menghasilkan sebagai bahan bakar alternatif yaitu senyawa yang terkandung di dalam lemak hewan babi. Salah satu komponen yang terdapat pada lemak hewan babi adalah trigliserida yang merupakan suatu ester. Trigliserida ini sendiri jika direaksikan dengan alkohol akan menghasilkan suatu ester dan gliserol. Reaksi ini dikenal dengan reaksi transesterifikasi. Ester yang dihasilkan merupakan sebuah mono ester yang akan menjadi bahan bakar alternatif yang dikenal dengan biodiesel. Seiring dengan perkembangan teknologi dan pengetahuan, permasalahan pembuatan biodiesel dari lemak hewan babi ini dapat diatasi. Namun sosialisasi akan hal ini masih kurang, sehingga masyarakat masih terpaku dengan biodiesel berbahan minyak nabati. Padahal untuk bahan alternatif dari lemak hewan, Indonesia memiliki modal yang cukup melimpah. Jumlah ternak (dalam satuan ekor) di Indonesia sangatlah melimpah, hal ini bisa dilihat pada gambar di bawah

No	Jenis	Tahun		Pertumbuhan 2016 terhadap 2015 (%)
		2015	2016 Asem	
I.	<b>Populasi (000 ekor)</b>			
1	Sapi Perah	518,65	533,86	2,93
2	Sapi Potong	15.419,72	16.092,56	4,36
3	Kerbau	1.346,92	1.386,28	2,92
4	Kambing	19.012,79	19.608,18	3,13
5	Domba	17.024,68	18.065,55	6,11
6	Babi	7.808,09	8.114,49	3,92
7	Kuda	430,40	437,57	1,66
8	Ayam Buras	285.304,31	298.672,97	4,69
9	Ayam Ras Petelur	155.007,39	162.051,26	4,54
10	Ayam Ras Pedaging	1.528.329,18	1.592.669,40	4,21
11	Itik	45.321,96	47.359,72	4,50

Gambar 1.1 Populasi Ternak di Indonesia

Sumber : Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan

Keterangan : ASEM = Angka Sementara

Pada Tabel 1 terlihat bahwa populasi babi di Indonesia cukup banyak bahkan sudah mencapai angka delapan juta ekor, sehingga memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Namun dengan jumlah penduduk Indonesia yang mayoritas beragama muslim, maka konsumsi akan lemak babi jauh lebih sedikit dibanding dengan lemak hewan ternak lainnya. Akibatnya banyak limbah lemak babi yang terbuang. Selain itu kandungan lemak babi per 100

gram ternak paling tinggi yaitu 28% dibanding dengan hewan-hewan yang lain, misal: sapi (14%), ayam (11,5%), dan belut (27%), sehingga lemak babi ini sangat potensial untuk dijadikan biodiesel. Adapun pertimbangan yang dilakukan mengapa digunakan lemak hewan babi yaitu karena bahan ini merupakan bahan yang dapat diperbaharui dan jumlahnya pun cukup berlimpah di Indonesia. Banyak dijumpai peternakan dan rumah potong hewan babi yang kurang memanfaatkan lemak-lemaknya, khususnya pada saat proses pemotongan. Bila tidak dilakukan pengolahan terhadap limbah padat tersebut, dikhawatirkan dapat menimbulkan kurangnya kandungan oksigen dalam air. Sehingga menimbulkan gas berbau busuk yang dapat menjadi tempat bersarangnya makhluk hidup pembawa penyakit seperti: lalat, tikus, atau bakteri yang pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas sanitasi yang ada. Selain itu lemak cenderung memiliki nilai ekonomi rendah dan bahkan kurang bermanfaat selain diolah untuk makanan. Dengan demikian lemak babi memiliki potensi untuk dikembangkan ke nilai ekonomi yang lebih tinggi dan berguna bagi kehidupan.

## 1.2. Perumusan Masalah

Dikarenakan semakin berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil di Indonesia, maka diperlukan suatu pemikiran untuk membuat bahan bakar alternatif sebagai bahan bakar penggerak motor diesel. Secara teknik, bahan bakar pengganti ini harus memiliki kemampuan yang sama halnya dengan bahan bakar konvensional selama ini, oleh karena itu pada penelitian pembuatan biodiesel ini mempunyai rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana *properties* biodiesel dari *lard oil*?
2. Bagaimana hasil dari uji performansi motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dari *lard oil*?
3. Bagaimana proses pembakaran motor diesel dengan menggunakan bahan biodiesel dari *lard oil*?
4. Bagaimana perbandingan performa dan proses pembakaran mesin diesel dengan biodiesel *lard oil* dengan biodiesel milik PT. PERTAMINA?

## 1.3. Batasan Permasalahan

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Metode pembuatan biodiesel dengan cara proses esterifikasi menggunakan katalis asam HCl 15% dan transesterifikasi dengan katalis basa KOH campuran *methanol*.
2. Variabel bahan bakar meliputi biosolar PT. PERTAMINA dan biodiesel dari *lard oil* 20% (B20)
3. Variabel putaran pada mesin menggunakan RPM sebesar 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100 RPM dan 2200 RPM
4. Pengujian peformansi dilakukan pada motor diesel YANMAR TF MH85-di dengan generator Mindong ST-3 yang berada di Laboratorium Marine Power Plan FTK ITS

#### **1.4. Tujuan Permasalahan**

Tujuan dari proses penelitian ini adalah untuk menjawab pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah diatas. Berikut tujuan dari proses penelitian

1. Untuk mengetahui kandungan properties biodiesel dari *lard oil*
2. Untuk mengetahui hasil uji performansi/prestasi motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel *lard oil*
3. Untuk mengetahui hasil uji pembakaran motor diesel dengan menggunakan bahan biodiesel dari *lard oil*
4. Untuk mengetahui bagaimana perbandingan performa dan proses pembakaran mesin diesel menggunakan bahan bakar biodiesel *lard oil* dengan biodiesel milik PT. PERTAMINA

#### **1.5. Manfaat Penulisan**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan tentang sumber daya hayati minyak hewani sebagai sumber pembuatan biodiesel yang berkualitas
2. Menambah pengetahuan cara pembuatan biodiesel secara umum
3. Menambah pengetahuan pada performa kerja motor diesel yang berbahan bakar biodiesel *lard oil*
4. Menambah pengetahuan performa mesin diesel yang berbahan bakar biodiesel *lard oil* dan dapat dibandingkan dengan mesin diesel berbahan bakar biosolar.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bahan bakar biodiesel adalah metil atau etil ester yang diperoleh dari bermacam-macam sumber energi yang dapat diperbaharui, seperti minyak tumbuhan atau lemak hewan. Ester adalah senyawa organik yang dapat digunakan dalam proses pembakaran pada mesin-mesin karena beberapa sifat dari ester sama seperti yang digunakan untuk bahan bakar diesel. Bahan bakar ini disebut biodiesel karena berasal dari material yang dapat diuraikan secara biologis dan dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin diesel (Anita, 2010).

Bahan bakar biodiesel dibuat dengan proses yang disebut transesterifikasi. Yang dimaksudkan dengan transesterifikasi adalah minyak-minyak (trigliserida) yang akan diubah menjadi metil ester dan gliserol melalui reaksi kimia dengan alkohol (biasanya methanol ataupun etanol) dan penambahan katalis seperti natrium atau kalium hidroksida. Biodiesel secara alami mudah teroksidasi, sehingga di dalam penyimpanan sebaiknya digunakan tangki penyimpanan yang terbuat dari aluminium atau baja (Dewi, 2004).

Lemak hewan babi atau lazim disebut juga *lard* adalah lemak yang didapatkan dari proses pemotongan babi. Namun dalam proses pembuatan biodiesel hanya akan dilakukan pengurangan kadar air dan pengotor melalui pemanasan untuk mencairkan lemak dan memisahkan pengotor serta mengurangi kadar air. Kandungan air dan asam lemak bebas yang terdapat pada lemak babi memiliki efek berkurangnya *yield* biodiesel yang dihasilkan karena akan membentuk sabun. Kandungan asam lemak bebas biasanya berkisar antara 2-7 % dalam minyak goreng bekas, sedangkan dalam lemak babi berkisar antara 5-30%. Untuk mengatasi asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) biasanya dilakukan *acidpretreatment*. Untuk itu terhadap lemak terlebih dahulu direaksikan dengan menggunakan katalis asam. Jenis asam yang dapat digunakan adalah asam sulfat dan asam klorida serta asam kuat lain (Sutrisno, 2002).

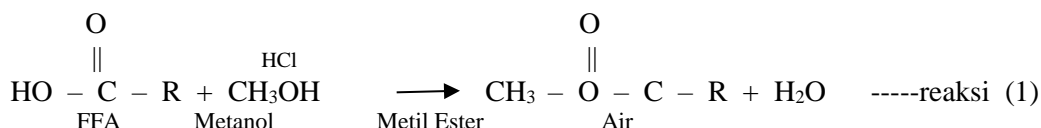
Lemak babi (*lard*) diperoleh dari berbagai bagian tubuh babi yang mengandung jaringan lemak yang tinggi. Lemak babi ini biasa digunakan sebagai: mentega, dan sabun. Spesifikasi lemak babi disajikan pada Tabel 2.

Energi per 100	3.70 kJ (900 kcal)
Titik leleh	<i>backfat</i> : 30–40 °C
	<i>leaf fat</i> : 43–48 °C
	<i>mixed fat</i> : 36–45 °C
Titik asap	121–218 °C (250–425 °F)
<i>Specific gravity at 20 °C</i>	0,917–0,938
Bilangan iodin	45–75
Bilangan asam	3,4
Angka penyabunan	190–205
<i>Unsaponifiable</i>	0,8 %

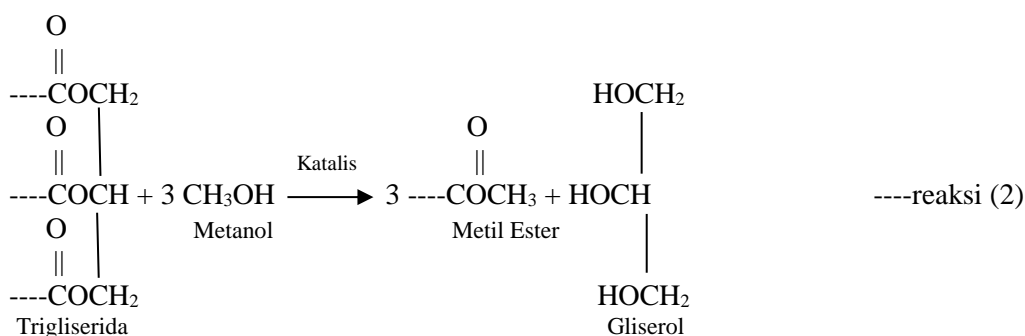
Tabel 2.1 Spesifikasi Lemak Babi

Sumber : Biro Pusat Statistik Pertanian, bps.go.id

Proses *acid-pretreatment* atau reaksi esterifikasi yaitu proses penggunaan katalis asam sebelum digunakan katalis basa dalam reaksi transesterifikasi dengan tujuan untuk menurunkan kadar *Free Fatty Acid (FFA)* sampai pada batas yang diijinkan yaitu maksimal 0,5 % b/b *lard oil* untuk menghasilkan *yield* biodiesel yang tertinggi. Persamaan reaksi esterifikasi disajikan di bawah.



Reaksi transesterifikasi ialah suatu istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu reaksi organik yang di dalam ester terjadi pertukaran separuh gugus alkoksinya dengan alkoksi lain. Ketika suatu ester direaksikan dengan alkohol, maka proses transesterifikasi dikenal dengan alkoholisis (*Lin, 2006*). Persamaan reaksi transesterifikasi disajikan di bawah.



Beberapa jenis alkohol yang dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi ialah: metanol, etanol, propanol, dan butanol. Untuk reaksi transesterifikasi yang berkataliskan basa, sedapat mungkin yang digunakan ialah alkohol dan trigliserida anhidrat atau yang kadar airnya cukup kecil. Hal ini dikarenakan dengan adanya air akan cenderung menyebabkan reaksi penyabunan (*Ardiyanti, 2002*).

Dalam pembuatan biodiesel reaksi transesterifikasi ini bertujuan untuk mengubah asam-asam lemak dari trigliserida dalam bentuk ester dengan bantuan monovalent alkohol seperti yang umum digunakan ialah metanol dan etanol (Sutrisno, 2002). Dalam penelitian ini akan digunakan lemak babi yang juga merupakan suatu trigliserida. Hanya saja diperlukan proses tambahan yaitu proses *rendering* terhadap lemak hewan tersebut. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan pengotor dalam lemak hewan dan mengurangi kadar airnya. Kadar air akan mempengaruhi hasil reaksi yang diharapkan yaitu alkil ester. Faktor-faktor penting yang berpengaruh dalam proses transesterifikasi adalah (Meher, 2006):

- Perbandingan molar alkohol terhadap minyak hewani. Perbandingan molar alkohol terhadap minyak hewani merupakan salah satu factor penting yang mempengaruhi efisiensi proses. Perbandingan molar yang semakin besar akan mempercepat laju reaksi dan juga *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin besar. Selain itu, penggunaan alkohol berlebih akan menurunkan *flash point* dari biodiesel.
- Suhu reaksi.  
Suhu reaksi sangat berpengaruh terhadap laju reaksi transesterifikasi, di mana semakin tinggi suhu yang digunakan, maka laju reaksi akan semakin cepat.
- Jumlah katalis.  
Jumlah katalis juga mempengaruhi efisiensi dari proses. Penambahan jumlah katalis yang berlebih akan meningkatkan pembentukan emulsi yang menyebabkan meningkatnya viskositas reaktan/produk.
- Waktu reaksi.  
Semakin lama waktu reaksi, *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin besar.
- Kadar *FFA*.  
Kadar *FFA* akan mempengaruhi *yield* biodiesel yang dihasilkan. Semakin besar kadar *FFA*, *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin kecil.

Asam lemak bebas dapat terbentuk dalam lemak atau minyak karena berbagai faktor, di antaranya yaitu hidrolisis lemak atau minyak oleh air ataupun hidrolisis oleh asam. Adanya asam lemak bebas menyebabkan terbentuknya sabun saat bereaksi dengan katalis basa dan akan mengurangi *yield* biodiesel yang dihasilkan. Maka biasanya dilakukan proses *acid-pretreatment* untuk mengurangi kandungan asam lemak bebas. Proses *acid-pretreatment* yaitu proses penggunaan katalis asam sebelum digunakan katalis basa dalam reaksi transesterifikasi dengan tujuan untuk menurunkan kadar *FFA* sampai pada batas maksimum yang diijinkan yaitu 0,5 % b/b *lard oil* untuk menghasilkan *yield* biodiesel yang tertinggi. Katalis asam yang dapat digunakan yaitu asam klorida (HCl), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), atau asam kuat lain.

Motor diesel adalah jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dimana sistem penyalan bahan bakar dengan cara menyemprotkan bahan bakar dengan pompa bertekanan kedalam silinder yang berisi udara terkompresi. Dengan tekanan dan temperatur udara didalam silinder yang tinggi dimana melebihi temperatur nyala bahan bakar maka bahan bakar akan terbakar bersamaan dengan udara bertekanan kemudian akan menghasilkan suatu kerja. Biodiesel sebagai bahan bakar yang akan digunakan dalam motor diesel harus memiliki *properties* dan karakteristik yang sesuai standard, seperti viskositas. Pada motor diesel

viskositas berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah viskositanya, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir (*Oksi, 2008*).

Dalam *properties* biodiesel juga terdapat densitas yang dapat mempengaruhi unjuk kerja dari motor diesel. Karakteristik densitas ini sangat berhubungan erat dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh motor diesel per satuan bahan bakar yang digunakan. Semakin tinggi tekanan yang dialami bahan bakar maka densitasnya akan semakin tinggi pula. Sementara itu, dalam kandungan biodiesel juga harus diperhatikan nilai dari *pour point* (titik tuang). Titik tuang merupakan batas temperatur tuang dimana mulai terbentuk kristal-kristal paraffin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar dan injektor. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar motor diesel (*Oksi, 2008*).

Suatu bahan bakar juga memiliki nilai *flash point* (titik nyala) yang merupakan temperatur terendah dari bahan bakar yang pada saat dipanaskan akan menyala diberikan kompresi yang tinggi. Terlepas dari itu semua, kandungan air dalam bahan bakar harus diperhatikan. Adanya kandungan air pada bahan bakar meskipun dalam jumlah sedikit akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pada saluran bahan bakar dan filter bahan bakar dan juga dapat menyebabkan korosi pada pompa bahan bakar dan injektor. Kelebihan kadar air juga menyebabkan pembakaran tidak merata, sehingga dapat memperpendek umur dari penggunaan motor diesel itu sendiri (*Oksi, 2008*).

Semua mesin diesel harus diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Karakteristik yang umum ditunjukkan adalah daya yang dihasilkan, torsi dan kebutuhan bahan bakar spesifik. Karakteristik bahan bakar juga mirip dengan solar konvensional dengan kadar sulfur yang rendah. Biodiesel memiliki kelebihan dibandingkan dengan solar dimana daya lubrikasinya sangat signifikan sehingga dapat memperbaiki karakteristik minyak solar (*Zuhdy, 2003*).

Performa yang dihasilkan oleh mesin diesel pasti berbeda, tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dan proses pembakarannya. Karakteristik geometris diantaranya terdiri dari rasio kompresi, rasio bore stroke, rasio panjang connecting rod terhadap radius crank, brake torque dan power, mean effective pressure, specific fuel consumption (*Heywood, 1988*).

Berikut adalah beberapa karakteristik tersebut:

- a) Karakteristik Geometrik Rasio kompresi adalah perbandingan antara volume silinder ditambah dengan volume ruang bakar pada saat piston di TMB dengan volume ruang bakar pada saat TMA (*Heywood, 1988*)
- b) Brake torque merupakan torsi yang diperoleh dari perkalian gaya dengan panjang lengan gaya dinamometer. Mesin menghasilkan torsi dan digunakan untuk menggerakkan crankshaft. Pada saat pembakaran di silinder mesin, udara



menimbulkan tekanan pada piston. Kemudian tenaga itu ditransmisikan dari piston melalui connecting rod menuju crankshaft. Torsi mesin biasanya diukur dengan dynamometer. Torsi bisa dihitung dengan dynamometer (Heywood, 1988)

- c) Brake Power Brake power adalah besarnya daya yang dihasilkan langsung dari putaran poros engkol yang dikeluarkan oleh mesin terhadap beban. Nilai brake power didapatkan dari hasil perkalian antara torsi dengan kecepatan mesin (RPM). Sehingga besarnya power yang dihasilkan mesin berbanding lurus dengan torsi dan kecepatan dari mesin tersebut (Heywood, 1988).
- d) Mean effective pressure Mean effective pressure (MEP) adalah salah satu karakter performa dari motor yang diperoleh dari beberapa parameter, diantaranya kerja tiap siklus dan volume displacement silinder tiap siklusnya (Heywood, 1988)
- e) Specific fuel consumption dan efisiensi Specific fuel consumption (SFC) atau konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan laju aliran masa fuel disetiap satuan waktu, atau biasa dilambangkan dengan  $m_f$  dibagi dengan daya output dari motor (Heywood, 1988)

*Combustion analysis process* merupakan penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik proses pembakaran meliputi *maximum pressure*, *heat release*, *knocking* dan *ignition delay*.

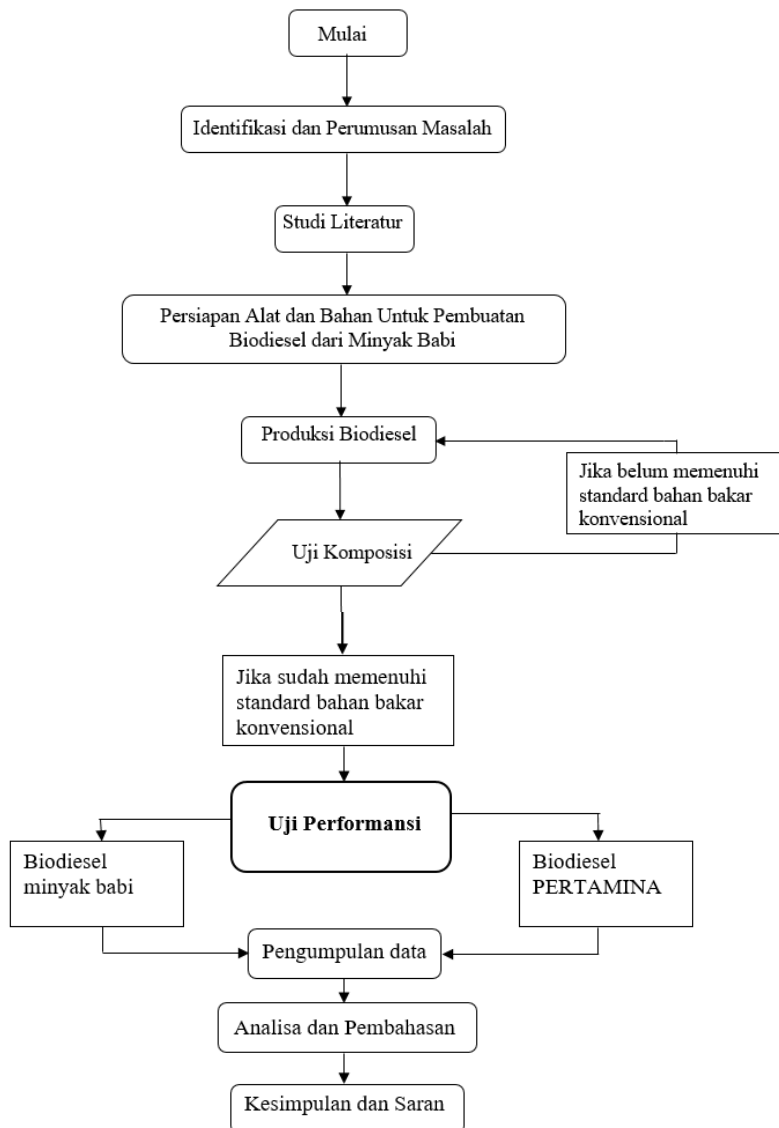
Dalam pengoperasian bahan bakar biodiesel ke motor diesel ada hal yang harus diperhatikan, yaitu munculnya *knocking*. *Knocking* yaitu hal yang disebabkan karena terlalu banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan pada tahapan pembakaran tertunda. Sehingga terlalu banyak bahan bakar yang terbakar pada tahapan kedua yang mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis serta menghasilkan getaran dan suara yang keras. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian analisa *combustion process* motor diesel yang menggunakan biodiesel kemiri sunan sebagai bahan bakarnya untuk mengetahui bagaimana kondisi pembakaran (*combustion process*) (Prabowo, 2014).

*Ignition delay* didefinisikan sebagai interval waktu (atau jarak engkol) dari saat injeksi bahan bakar mulai sampai dengan pembakaran. Proses secara fisik maupun kimiawi harus sudah terjadi sebelum sebagian besar bahan bakar diinjeksikan. Proses fisik adalah saat atomisasi penginjeksian bahan bakar, penguapan dan pencampuran uap bahan bakar dengan udara di dalam ruang silinder. Atomisasi yang baik membutuhkan tekanan bahan bakar tinggi, diameter lubang injektor yang kecil, viskositas bahan bakar yang optimum dan tekanan silinder tinggi (sudut divergensi besar). Tingkat penguapan pada tiap tetesan bahan bakar tergantung pada diameter tetesan, kecepatan, tekanan dan temperatur udara. Proses kimia pada proses pembakaran adalah proses *autoignition* pada udara dan bahan bakar yang telah tercampur. Karakteristik pengapian bahan bakar mempengaruhi *ignition delay*. Kualitas pengapian bahan bakar ditentukan oleh *cetane number*. Untuk bahan bakar *cetane* rendah, *ignition delay* akan panjang dan sebagian besar bahan bakar yang disuntikkan terakumulasi di dalam silinder sebelum mengalami proses *autoignition*. Hal ini menyebabkan pembakaran terjadi dengan cepat. Dalam kasus yang lebih ekstrim, hal ini akan menghasilkan suara ketukan yang terdengar disebut *diesel knock* (Zuhdi, 2016).

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

### BAB III METODOLOGI

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Di mana pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen dalam pembuatan biodiesel dari *lard oil* dengan proses transesterifikasi serta menguji kandungan *propertiesnya*. Setelah itu akan dilakukan pengujian bahan bakar *lard oil* dan biosolar dari PT. PERTAMINA pada motor diesel untuk mengetahui performa kedua bahan bakar tersebut. Adapun diagram alir metodologi yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

### 3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini, untuk mengetahui apakah *lard oil* memiliki kandungan yang berpotensi sebagai bahan baku dalam proses pembuatan biodiesel. Selain itu, perumusan masalah ini nantinya akan dilakukan mengujian *properties* pada pembuatan biodiesel dari *lard oil*.

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori – teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti, buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, studi literatur tersebut mengacu pada proses pengolahan *lard oil* untuk dapat diproses menjadi biodiesel dengan cara transesterifikasi.

### 3.3. Persiapan Alat dan Bahan pada Pembuatan Biodiesel

Pada tahap ini akan dilakukan semua perlengkapan sebelum dilaksanakannya percobaan pembuatan biodiesel dari bahan baku *lard oil*. Alat yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan merupakan peralatan dalam skala laboratorium yang terdiri dari peralatan transesterifikasi dan peralatan uji karakteristik. Sementara untuk bahan yang diperlukan untuk penelitian ini meliputi minyak lemak, alkohol, dan katalis. Dalam tahap persiapan ini diharapkan semua peralatan dan bahan mudah untuk didapatkan guna mempermudah saat melakukan percobaan. Dalam penelitian ini dibutuhkan antara lain :

a) Variasi bahan bakar sebagai berikut:

- Biosolar
- B20 : Campuran Biodiesel 20% dan Solar 80% ( PERTAMINA DEX)
- MDO
- B20 MDO

b) Variabel RPM Mesin yang Dikontrol

- RPM 1800
- RPM 1900
- RPM 2000
- RPM 2100
- RPM 2200

c) Variabel Pembebanan

- 1000 watt
- 2000 watt
- 3000 watt
- 4000 watt
- 5000 watt

### 3.4. Produksi Biodiesel

Pelaksanaan percobaan dilakukan setelah tahap-tahap sebelumnya sudah terlaksana. Pada percobaan kali ini akan melakukan pembuatan biodiesel dari *lard oil* dan nantinya akan diuji kandungannya untuk memenuhi persyaratan standart bahan bakar.

### 3.5. Uji Komposisi

Setelah semua langkah - langkah percobaan dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah menguji daripada kandungan biodiesel itu sendiri. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi biodiesel guna memenuhi standard bahan bakar konvensional seperti pada umumnya.

### 3.6. Uji Performansi

Uji performansi dilakukan setelah bahan bakar biodiesel telah diuji kandungan *properties*nya. Pengujian ini dilakukan pada mesin diesel **YANMAR TF MH85-di** dengan generator **Mindong ST-3** yang terdapat pada *Laboratorium Marine Power Plan ITS*. Tujuan dilakukan uji performansi yaitu untuk mengetahui daya, torsi, BMEP dan SFOC dari motor diesel dengan menggunakan campuran bahan bakar biodiesel dari *lard oil* dengan minyak solar. Setelah itu dilakukan juga uji performansi dengan menggunakan biodiesel milik PT. PERTAMINA.

### 3.7. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh setelah melakukan uji komposisi dan tahap percobaan. Dari pengujian dan percobaan ini akan diperoleh data karakteristik biodiesel yang terbuat dari *lard oil* dan biodiesel milik PERTAMINA. Disamping itu pula juga dibutuhkan data pada saat unjuk kerja pada motor diesel dengan menggunakan kedua biodiesel tersebut.

### 3.8. Analisa Data dan Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah mengamati proses pembuatan biodiesel dengan cara transesterifikasi. Selain itu juga menganalisa kandungan biodiesel dari *lard oil* serta menganalisa unjuk kerja motor diesel dengan campuran biodiesel *lard oil*.

### 3.9. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi ini. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Produksi Biodiesel**

Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen berupa produksi biodiesel dari bahan baku *lard oil* yang didapat dengan memanaskan lemak babi. Minyak tersebut akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan bantuan katalis asam HCl dalam proses esterifikasi dan katalis KOH dalam proses transesterifikasi. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan biodiesel, diantaranya:

- Alat : - Kompor  
- Panci  
- Wajan  
- Spatula  
- Saringan  
- Corong  
- *Beaker glass*  
- Pipet tetes  
- Pipet ukur  
- Corong pemisah  
- Timbangan bahan digital  
- Pengaduk kaca  
- *Hot plate + stirrer*  
- *Magnetic stirrer*  
- Termometer  
- Sarung tangan karet  
- Jerigen
- Bahan : - Lemak babi  
- Methanol  
- Aquades  
- KOH  
- HCl 15%

##### **4.1.1 Produksi *Lard oil***

*Lard oil* didapatkan dengan cara memanaskan lemak babi diatas wajan dengan api yang kecil. Api yang kecil tersebut mencegah minyak yang cepat keluar dan menggoreng lemak yang sedang dipanaskan. Untuk memanaskan satu kilogram lemak babi membutuhkan waktu tiga sampai empat jam. Minyak yang sudah keluar kemudian disaring lalu ditampung di dalam panci sambil menunggu minyak dingin. Setelah minyak dingin, minyak dimasukkan ke dalam jerigen untuk disimpan.

Untuk proses yang lebih cepat dan mencegah *lard oil* menggoreng lemak, dapat menggunakan oven. Hasil yang didapat dari memanaskan 6,5 kg lemak babi sebanyak 5,5 liter *lard oil*.



Gambar 4.1 Produksi Lard Oil  
Gambar 4.1

#### 4.1.2 Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi

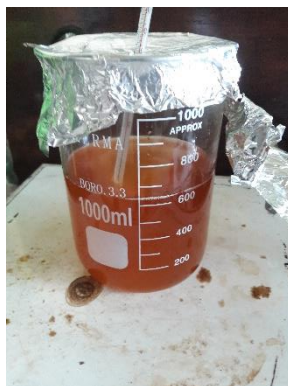
Proses esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar FFA untuk proses transesterifikasi. Pertama panaskan 500ml *lard oil* dalam *beaker glass* dan masukkan *magnetic stirrer* ke dalamnya. Setelah itu letakkan *beaker glass* di atas *hot plate* lalu nyalakan *heater* dan *stirrernya*.



Gambar 4.2 Rangkaian alat.

Setelah suhu berada diantara 70 - 80°C, masukkan 2,5ml HCl 15% ke dalam *beaker glass* lalu diamkan selama satu jam dan tur suhu agar selalu berada di antara 70 - 80°C. Tutup *beaker glass* dengan aluminium foil untuk mencegah penguapan.





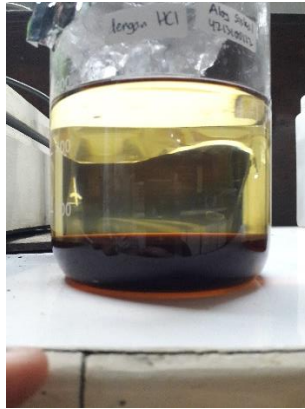
Gambar 4.3 Lard oil mentah



Gambar 4.4 Lard oil ditambah HCl

Setelah itu dilanjutkan dengan proses transesterifikasi yaitu untuk merubah minyak menjadi metil ester. Pada proses transesterifikasi ini menggunakan methanol dan katalis basa yaitu KOH. Berikut proses transesterifikasi *lard oil*:

1. Panaskan *lard oil* yang sudah diesterifikasi sebanyak 500ml hingga mencapai suhu 70 - 80°C.
2. Buat larutan metoksida, yaitu campuran katalis basa (KOH) sebanyak 8,9 gram dengan metanol sebanyak 100ml. Aduk dengan pengaduk kaca hingga KOH larut dalam methanol.
3. Masukkan larutan metoksida ke dalam *lard oil* dan jaga suhu agar tetap pada rentang 70 - 80°C. Tutup kembali *beaker glass* dengan aluminium foil untuk mencegah methanol menguap mengingat methanol menguap pada suhu 60°C.
4. Lanjutkan proses pemanasan dan pengadukan yang sudah tercampur dengan metoksida selama 1 jam.
5. Diamkan dalam suhu ruangan selama 8-12 jam.
6. Setelah terjadi separasi, pisahkan *crude biodiesel* dengan endapan gliserol menggunakan pipet ukur.

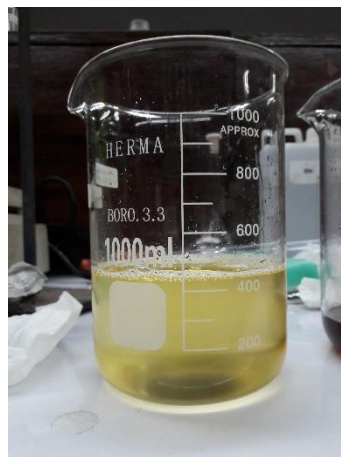


Gambar 4.5 Terjadi separasi



Gambar 4.6 Memindahkan crude biodiesel

Pada proses transesterifikasi didapatkan endapan gliserol sekitar 100 ml dan sekitar 450ml crude biodiesel yang dapat dipindahkan dengan pipet ukur. Ukur pH dari *crude* biodiesel menggunakan *universal indicator* dan didapatkan pH dari *crude* biodiesel adalah 9.



Gambar 4.7 Crude biodiesel.



Gambar 4.8 Universal Indicator

#### 4.1.3 Pencucian Biodiesel *Lard oil*

Pencucian biodiesel bertujuan untuk memurnikan biodiesel dengan memisahkan metanol dan zat-zat pengotor lainnya. Proses pencucian ini menggunakan aquades dengan perbandingan 1:2 dengan *crude* biodiesel. Untuk mendapatkan minyak biodiesel yang jernih, maka dilakukan proses pencucian sebanyak 3-4 kali tergantung pada tingkat kemurnian biodiesel tersebut. Berikut proses pencucian biodiesel *lard oil* :

1. Masukkan *crude* biodiesel ke dalam corong pemisah.
2. Tuangkan 225 ml aquades ke dalam corong pemisah lalu kocok selama 5-10 menit.
3. Jangan mengocok terlalu kencang dan lama untuk mencegah kedua larutan bereaksi dan gagal terpisah.
4. Diamkan campuran hingga terjadi separasi/pengendapan selama 8-24 jam
5. Setelah terjadi separasi, lakukan pemisahan dengan membuka katup pada corong pemisah.
6. Lakukan proses tersebut sebanyak 3-4 kali.



Gambar 4.9 Corong pemisah

#### 4.1.4 Pengeringan Biodiesel *Lard Oil*

Pengeringan biodiesel *lard oil* bertujuan untuk menghilangkan air yang terkandung dalam minyak. Proses pengeringan ini dilakukan dengan memanaskan biodiesel dan diaduk menggunakan magnet stirer dengan suhu 100°C untuk menguapkan air. Proses pencucian ini dilakukan sampai tidak adanya air yang terkandung didalam biodiesel.

#### 4.2 Properties Biodiesel *Lard Oil*

Pemanfaatan minyak hewani sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah: sumber minyak hewani mudah didapat, proses pembuatan biodiesel dari minyak hewani mudah dan cepat, serta tingkat konversi minyak hewani menjadi biodiesel yang tinggi. Dalam pembuatan biodiesel, secara umum memiliki parameter yang menjadi standar mutu biodiesel yaitu densitas, viskositas, titik nyala (*flash point*), titik kabut (*pour point*), dan nilai kalor yang dihasilkan (*low heating value*).

Pada penelitian ini, minyak hewani diperoleh dari lapisan lemak hewan babi. Dari minyak tersebut akan dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan bantuan katalis basa KOH dan katalis asam HCl melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Pengolahan dan pembuatan bahan bakar biodiesel kualitasnya harus dijaga sehingga memiliki *properties* yang memenuhi standar yang telah ditentukan. Setelah didapatkan biodiesel bahan baku *lard oil* melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi, maka untuk menentukan kualitasnya diperlukan pengujian *properties* dari biodiesel tersebut. Pada penelitian ini, pengujian *properties* biodiesel dilakukan di Laboratorium Energi ITS.

	Biosolar	B100	B20	MDO	Satuan
Densitas	815-860	870	830	Max 900	kg/m <sup>3</sup>
Viskositas 40°C	2,0-4,5	3,11	5,51	2,5-11	Cst
Flash Point	Min 52	170	79	Min 60	°C
Pour Point	Max 18	-1	<-11	Max 18	°C
Lower Heating Value	-	-	42.970	-	KJ/Kg

Tabel 4.1 Properties Biodiesel *Lard Oil*

Data dari hasil uji *properties* biodiesel *Lard Oil* ini akan dianalisa yang mengacu pada standar nasional biodiesel untuk setiap parameternya. Analisa parameter *properties* dalam pengujian ini meliputi densitas, viskositas, *flash point*, *pour point*, dan *lower heating value*.

#### 4.2.1 Densitas (Berat Jenis)

Berat jenis adalah perbandingan antara massa dengan volume bahan bakar. Densitas bahan bakar dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur, maka densitas semakin turun dan sebaliknya. Berat jenis biodiesel *lard oil* memiliki nilai sebesar  $830 \text{ kg/m}^3$ . Nilai berat jenis biodiesel *lard oil* ini belum memenuhi standard dari SNI yang memiliki batas nilai  $850 - 890 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.2.2 Viskositas

Viskositas merupakan tingkat kekentalan yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Viskositas bahan bakar mempunyai pengaruh yang besar terhadap bentuk semprotan bahan bakar. Di mana untuk bahan bakar dengan viskositas yang terlalu tinggi akan memberikan atomisasi yang rendah sehingga mengakibatkan mesin sulit di start. Jika viskositas bahan bakar terlalu rendah maka akan terjadi kebocoran pada pompa bahan bakarnya dan mempercepat keausan pada komponen pompa dan injektor bahan bakar. Menurut standar biodiesel nasional menyebutkan bahwa viskositas dari biodiesel harus mempunyai nilai antara  $2,3 - 6 \text{ Cst}$ . Nilai viskositas pada bahan bakar biodiesel *lard oil* menunjukkan angka sebesar  $5,51 \text{ CSt}$ , dengan demikian dapat dikatakan bahwa nilai viskositas dari biodiesel *lard oil* telah memenuhi standard kualitas berdasarkan SNI.

#### 4.2.3 Flash Point (Titik Nyala)

Flash point adalah temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar (biodiesel) akan terbakar dengan cepat (meledak). Flash Point menunjukkan tingkat kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Semakin tinggi flash point, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Pada penelitian ini, nilai dari titik nyala biodiesel *lard oil* sebesar  $79^\circ\text{C}$ . Nilai flash point tersebut belum memenuhi standar dari SNI yang memiliki standar batas minimal sebesar  $100^\circ\text{C}$ .

#### 4.2.4 Pour Point (Titik Tuang)

Titik tuang merupakan batas temperatur tuang dimana mulai terbentuk kristal-kristal paraffin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar dan injektor. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar. Pada biodiesel *lard oil* memiliki nilai titik tuang di bawah  $-11^\circ\text{C}$ , dimana nilai tersebut telah memenuhi standar dari biodiesel nasional yang memiliki batas nilai sebesar maksimal  $18^\circ\text{C}$ .

#### 4.2.5 Lower Heating Value (Nilai Kalor/Panas)

Nilai panas (nilai pembakaran) atau HV (*Heating Value*) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh  $1 \text{ kg}$  bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat  $\text{H}_2\text{O}$  dalam bentuk uap atau cairan. Nilai kalor biasanya digunakan pada bahan bakar dan merupakan karakteristik dari bahan bakar tersebut.

Terdapat dua macam nilai pembakaran yaitu nilai pembakaran atas atau *Higher Heating Value* (HHV) dan nilai pembakaran bawah atau *Lower Heating Value* (LHV). HHV merupakan nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O berbentuk cairan, sedangkan LHV yaitu nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O berbentuk gas. Pada penelitian ini, pengujian *properties* biodiesel *lard oil* hanya menguji nilai kandungan LVH. Nilai LHV pada biodiesel *lard oil* didapatkan sebesar 42.970.524 J/kg, dimana nilai tersebut belum memenuhi standard biodiesel nasional yaitu maksimal 42.398.333,316 J/kg.

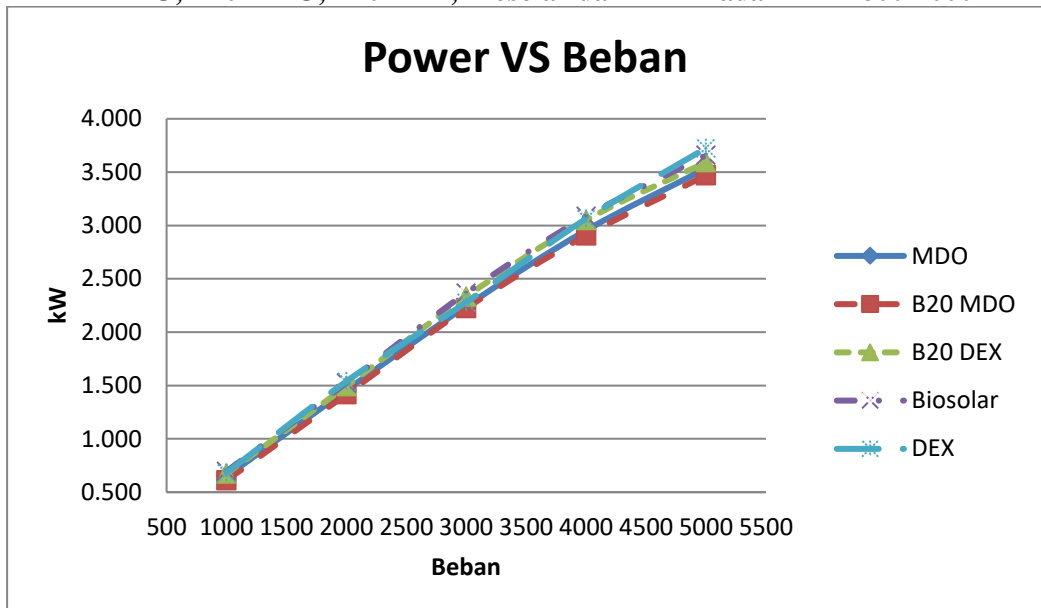
#### **4.3 Pengaruh Biodiesel *Lard Oil* Dalam Uji Performansi Motor Diesel**

Motor diesel adalah jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dimana pembakaran dengan menyemprotkan bahan bakar cair ke dalam udara yang dipanaskan kompresi didalam silinder. Bahan bakar akan terbakar bersamaan dengan udara bertekanan kemudian akan menghasilkan suatu kerja.

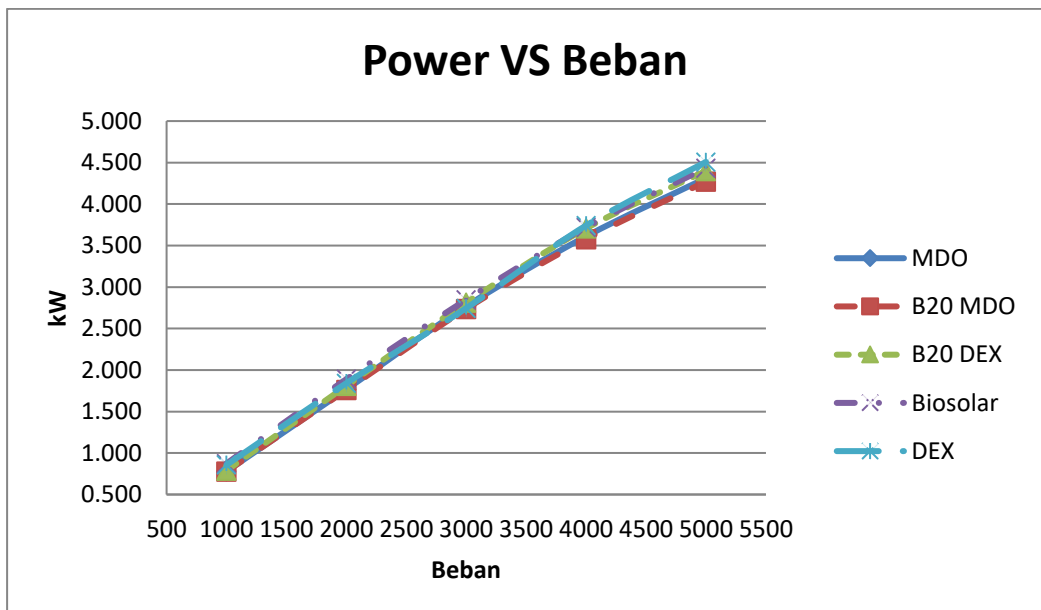
Pada Penelitian ini akan dilakukan uji peformansi untuk mengetahui pengaruh biodiesel *lard oil* pada prestasi motor diesel. Hasil percobaan ini nantinya akan menentukan performa mesin secara menyeluruh terutama letak pembebanan pada masing-masing putaran. Putaran yang digunakan dalam percobaan ini dimulai pada putaran 1800 rpm sampai dengan 2200 rpm.

Jenis bahan bakar yang akan digunakan dalam percobaan ini ada 4 jenis bahan bakar. Yang pertama menggunakan jenis bahan bakar minyak MDO. Jenis bahan bakar yang kedua menggunakan campuran antara biodiesel *lard oil* sebesar 20% dengan minyak Pertamina Dex milik PT. PERTAMINA sebesar 80% (B20). Jenis bahan bakar yang ketiga menggunakan campuran biodiesel *lard oil* sebesar 20% minyak MDO 80% (B20). Dan jenis bahan bakar yang keempat menggunakan biosolar yang diperjualbelikan di SPBU. Untuk mengetahui unjuk kerja motor diesel, diperlukan rumus perhitungan yang terdapat pada lampiran untuk analisa dan pembahasan mengenai daya, torsi, konsumsi bahan bakar (SFOC), serta BMEP.

#### 4.3.1 Perbandingan Antara Daya Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1800-2000



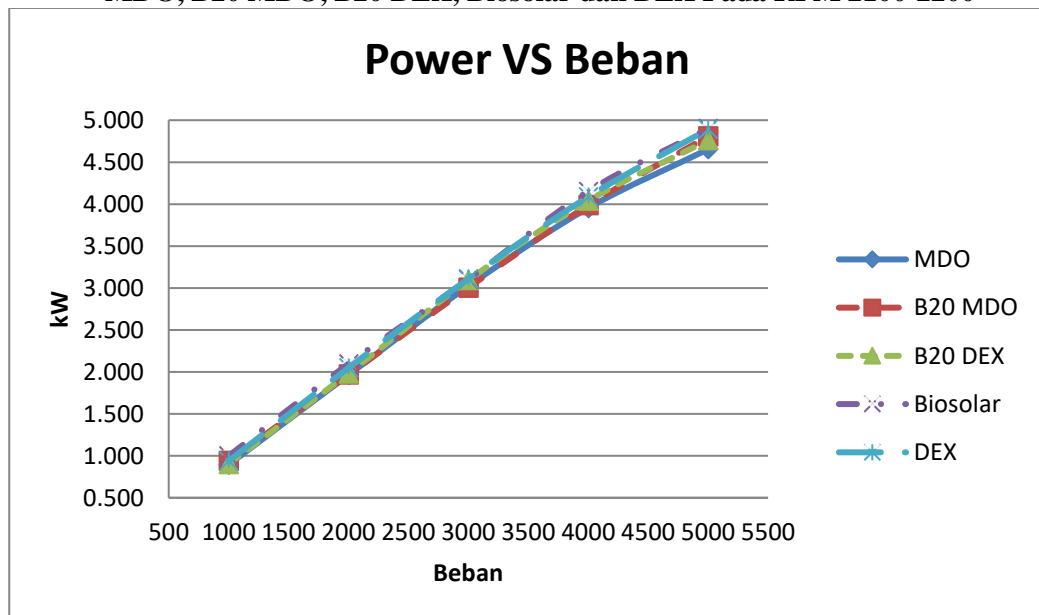
Grafik 4.1 Perbandingan Antara Daya dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX pada RPM 1800



Grafik 4.2 Perbandingan Antara Daya dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2000

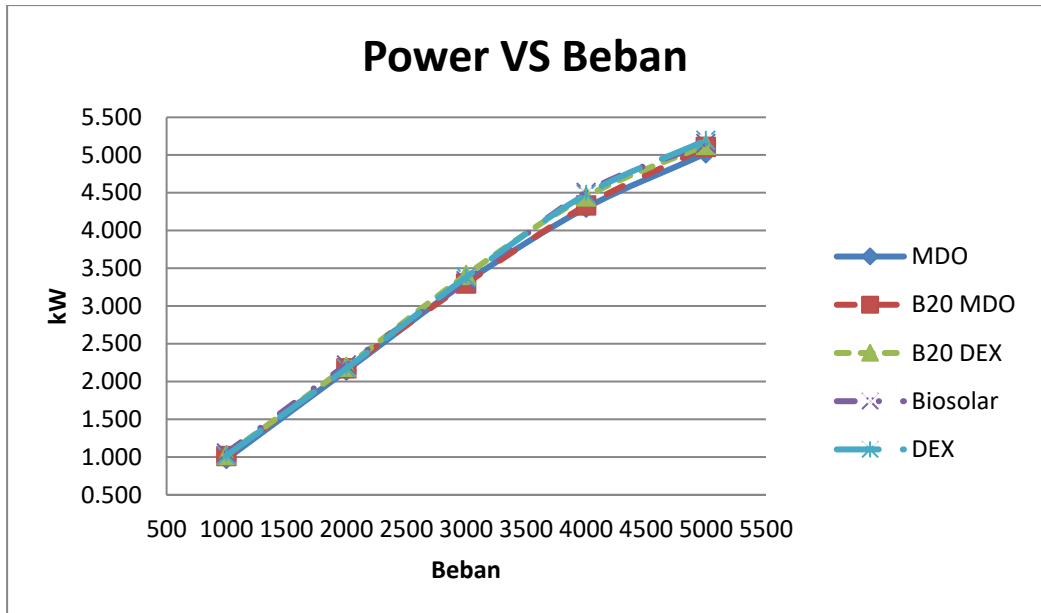
Grafik 4.1 dan 4.2 merupakan perbandingan antara nilai daya yang dihasilkan dengan beban maksimum pada tiap jenis bahan bakar pada putaran 1800 RPM dan 2000 RPM. Untuk kedua grafik tersebut. Bahan bakar DEX menghasilkan daya terbesar 3,725 kW pada putaran 1800 RPM dan 4,508 kW pada putaran 2000 RPM. Sedangkan Biosolar berada di bawah bahan bakar DEX dengan selisih 0,067 kW pada putaran 1800 RPM dan 0,074 kW pada putaran 2000 RPM. Pada kedua grafik tersebut juga terlihat bahwa pada jenis bahan bakar MDO menghasilkan daya di bawah B20 DEX dengan selisih 0,059 kW pada putaran 1800 RPM dan 0,088 kW pada putaran 2000 RPM. Akan tetapi, minyak MDO berada di atas bahan bakar B20 MDO dengan selisih 0,064 kW pada putaran 1800 RPM dan 0,042 kW pada putaran 2000 RPM.

#### 4.3.2 Perbandingan Antara Daya Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100-2200



Grafik 4.3 Perbandingan Antara Daya dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100

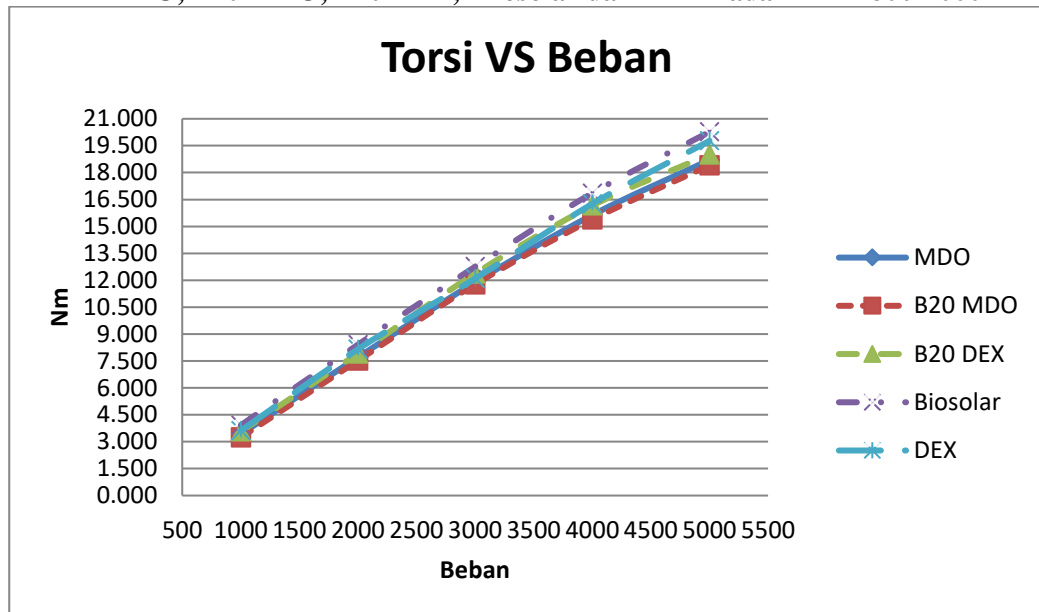




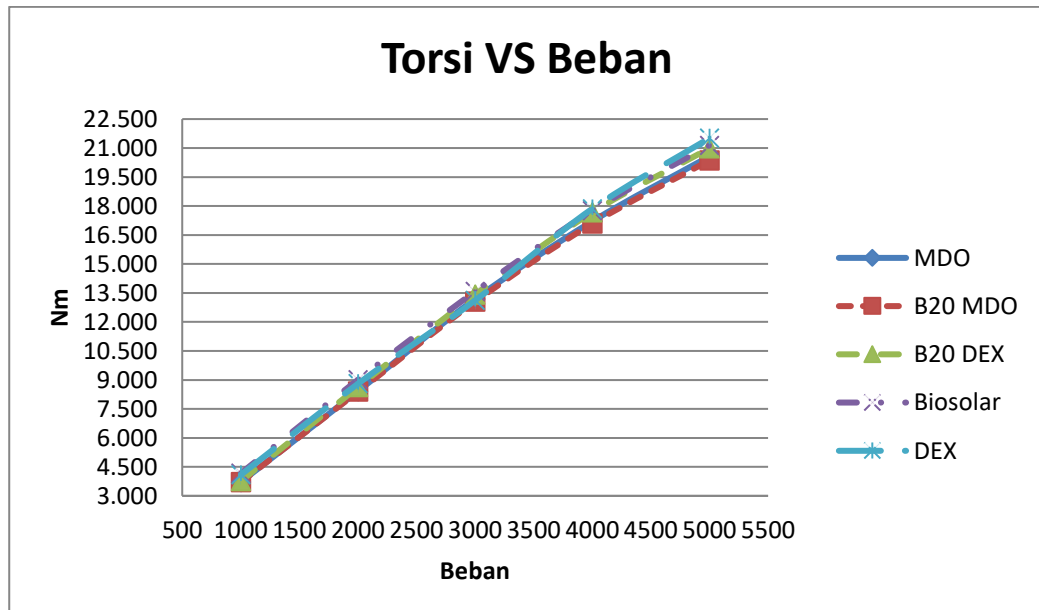
Grafik 4.4 Perbandingan Antara Daya dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2200

Grafik 4.3 dan 4.4 di atas merupakan perbandingan antara nilai daya yang dihasilkan dengan beban maksimum pada tiap jenis bahan bakar pada putaran 2100 RPM dan 2200 RPM. Pada kedua grafik tersebut, bahan bakar Biosolar yang menghasilkan daya terbesar dengan 4,901 kW pada putaran 2100 RPM tetapi pada putaran 2200 RPM bahan bakar DEX menghasilkan daya yang paling besar dengan 5,198 kW. Pada kedua grafik tersebut juga terlihat bahwa daya yang dihasilkan jenis bahan bakar B20 MDO meningkat menjadi berada di atas minyak MDO dengan selisih 0,154 kW pada putaran 2100 RPM dan 0,084 kW pada putaran 2200 RPM. Sedangkan bahan bakar B20 DEX berada di bawah Biosolar dengan selisih 0,14 kW pada putaran 2100 RPM, dan 0,019 kW pada putaran 2200 RPM.

#### 4.3.3 Perbandingan Antara Torsi Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1800-2000



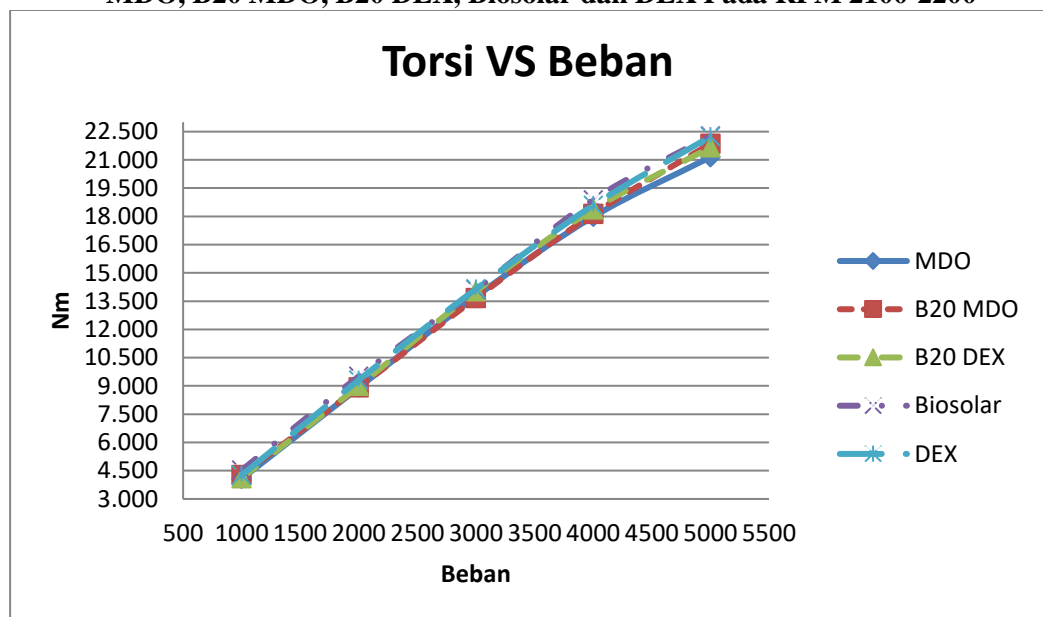
Grafik 4.5 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, dan Biosolar Pada RPM 1800



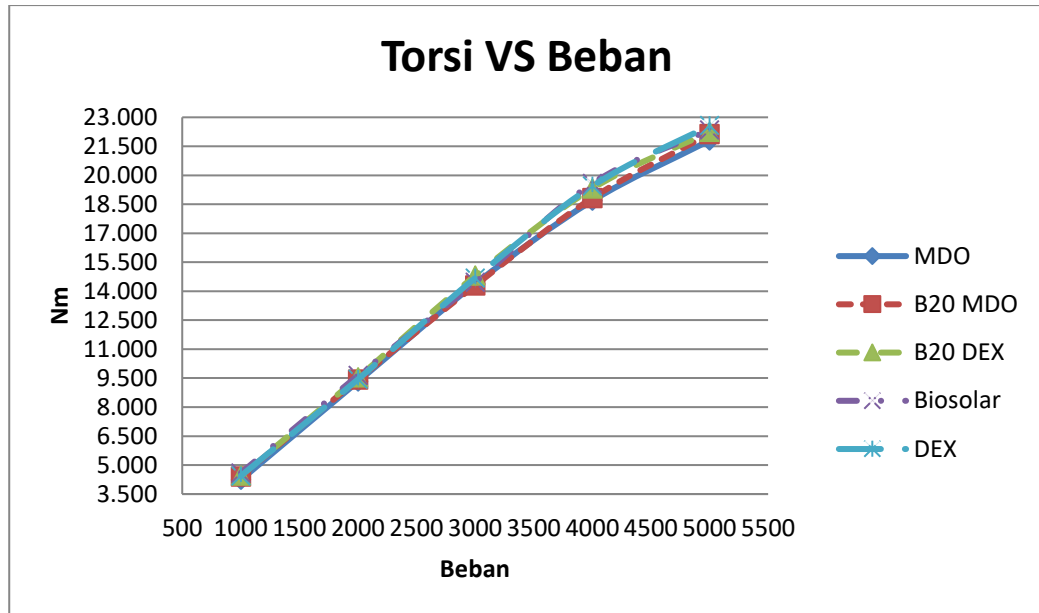
Grafik 4.6 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2000

Grafik 4.5 dan 4.6 di atas merupakan perbandingan antara nilai torsi yang dihasilkan dengan beban maksimum pada tiap jenis bahan bakar pada putaran 1800 RPM dan 2000 RPM. Untuk kedua grafik tersebut bahan bakar Biosolar menghasilkan torsi terbesar dengan 19,406 Nm pada putaran 1800 RPM tetapi, pada putaran 2000 RPM bahan bakar DEX menghasilkan torsi yang lebih besar dengan 21,513 Nm. Pada kedua grafik tersebut juga terlihat bahwa pada jenis bahan bakar MDO menghasilkan daya di bawah B20 DEX dengan selisih 0,312 Nm pada putaran 1800 RPM, 0,178 Nm dan 0,418 Nm pada putaran 2000 RPM. Akan tetapi, minyak MDO berada di atas bahan bakar B20 MDO dengan selisih 0,298 Nm pada putaran 1800 RPM, 0,238 Nm dan 0,211 kW pada putaran 2000 RPM.

#### 4.3.4 Perbandingan Antara Torsi Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100-2200



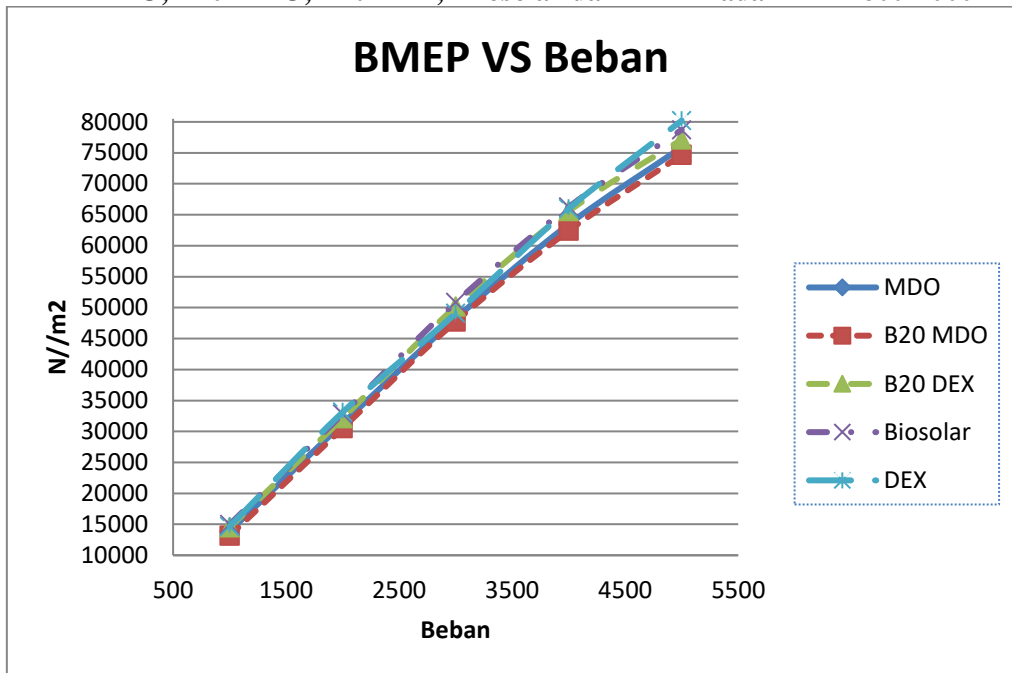
Grafik 4.7 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100



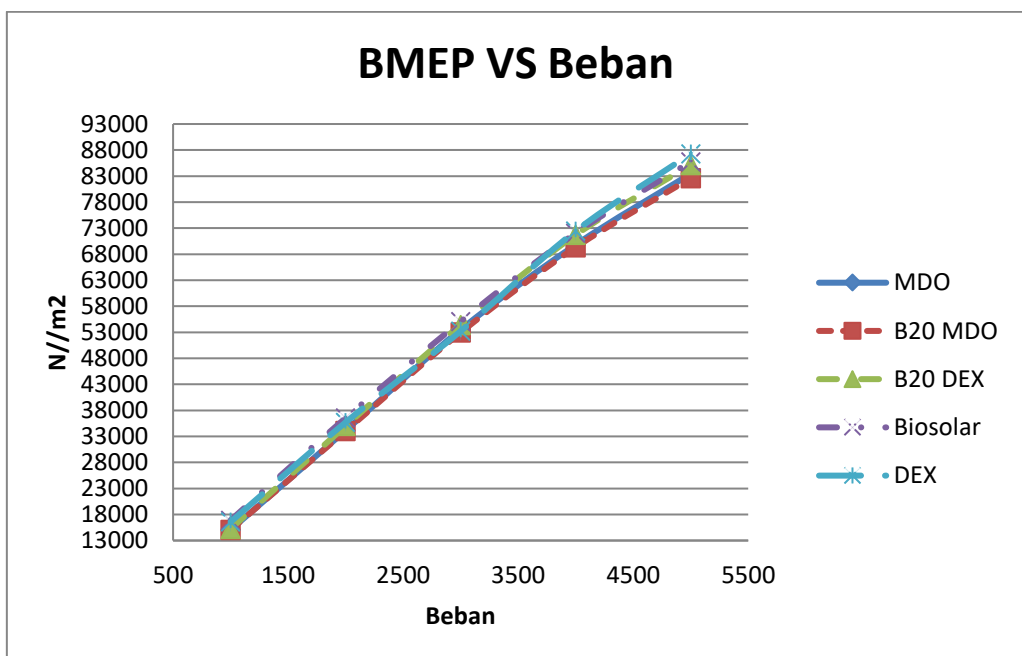
Grafik 4.8 Perbandingan Antara Torsi dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2200

Grafik 4.7 dan 4.8 di atas merupakan perbandingan antara nilai torsi yang dihasilkan dengan beban maksimum pada tiap jenis bahan bakar pada putaran 2100 RPM dan 2200 RPM. Pada kedua grafik tersebut, bahan bakar Biosolar masih menghasilkan torsi terbesar dengan 22,276 Nm pada putaran 2100 RPM tetapi pada putaran 2200 RPM bahan bakar DEX menghasilkan torsi paling besar dengan 22,573 Nm. Pada kedua grafik tersebut juga terlihat bahwa torsi yang dihasilkan jenis bahan bakar B20 MDO meningkat menjadi berada di atas minyak MDO dengan selisih 0,709 Nm pada putaran 2100 RPM dan 0,338 Nm pada putaran 2200 RPM. Sedangkan bahan bakar B20 DEX masih berada di bawah Biosolar dengan selisih 0,617 Nm pada putaran 2100 RPM, dan 0,094 Nm pada putaran 2200 RPM.

#### 4.3.5 Perbandingan Antara BMEP Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1800-2000



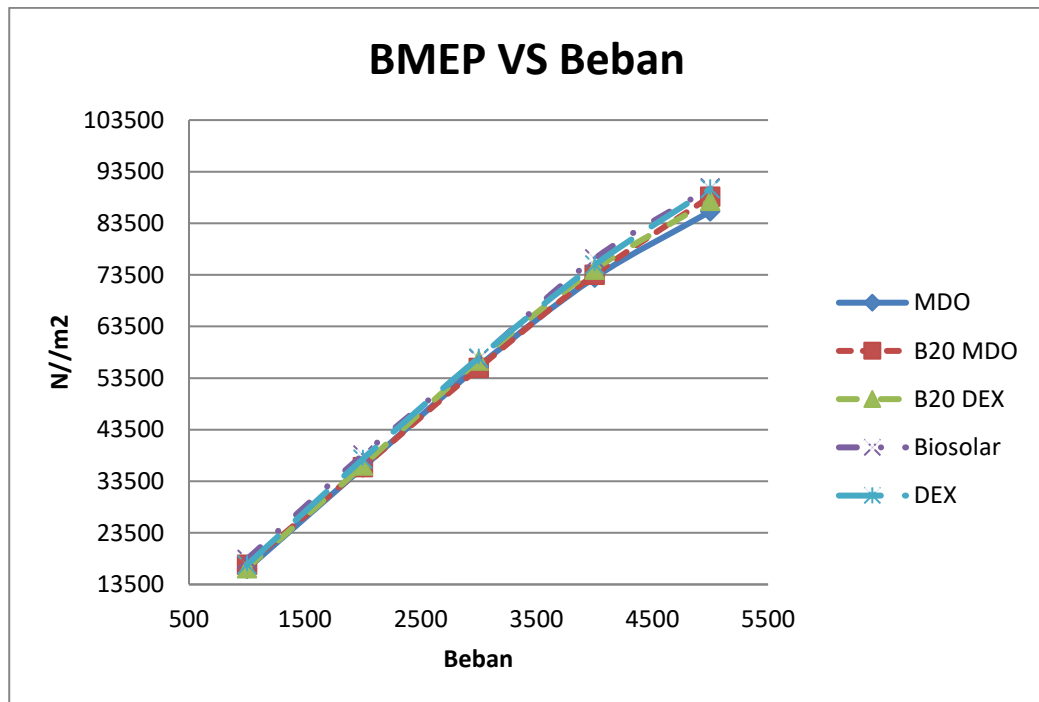
Grafik 4.9 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1800



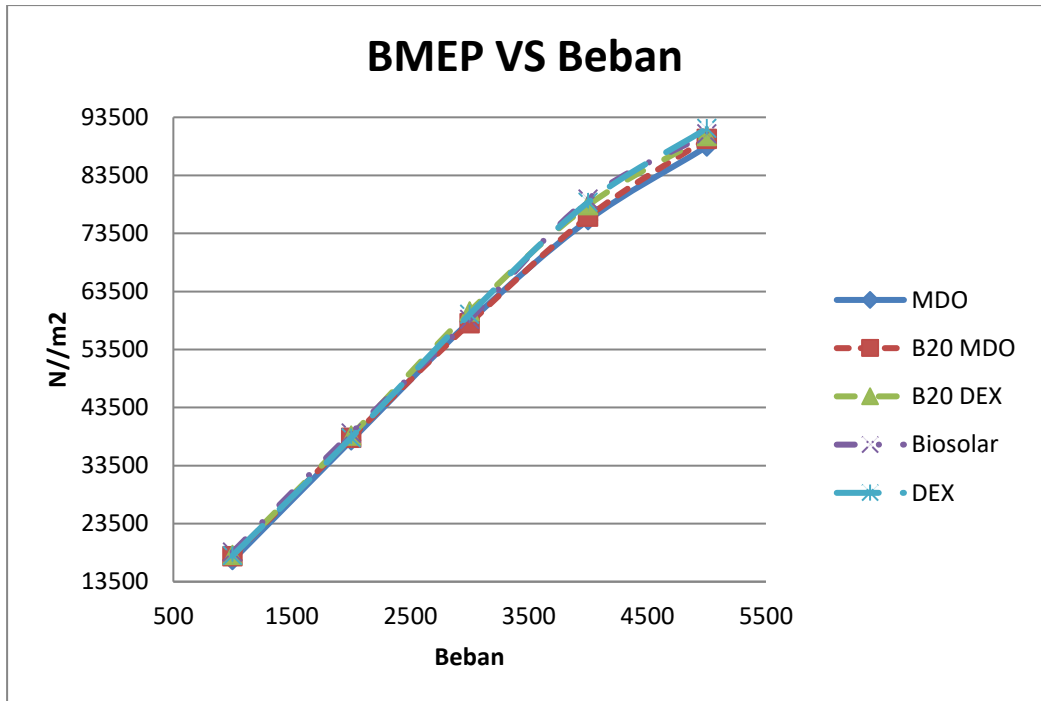
Grafik 4.10 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2000

Grafik 4.9 dan 4.10 di atas merupakan perbandingan antara nilai BMEP yang dihasilkan dengan beban maksimum pada tiap jenis bahan bakar pada putaran 1800 RPM dan 2000 RPM. Untuk kedua grafik tersebut, bahan bakar DEX menghasilkan nilai BMEP terbesar dengan 80210,00084 N/m<sup>2</sup> pada putaran 1800 RPM dan 87274,062 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2000 RPM. Pada kedua grafik tersebut juga terlihat bahwa pada jenis bahan bakar MDO menghasilkan nilai BMEP di bawah B20 DEX dengan selisih 1264,739 N/m<sup>2</sup> pada putaran 1800 RPM, 721,64865 N/m<sup>2</sup> dan 1694,715 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2000 RPM. Akan tetapi, minyak MDO berada di atas bahan bakar B20 MDO dengan selisih 1209,928 N/m<sup>2</sup> pada putaran 1800 RPM, 968,096 N/m<sup>2</sup> dan 855,874 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2000 RPM. Sedangkan Biosolar berada di bawah bahan bakar DEX dengan selisih 1483,655 N/m<sup>2</sup> pada putaran 1800 RPM dan 1517,024 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2000 RPM.

#### 4.3.6 Perbandingan Antara BMEP Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100-2200



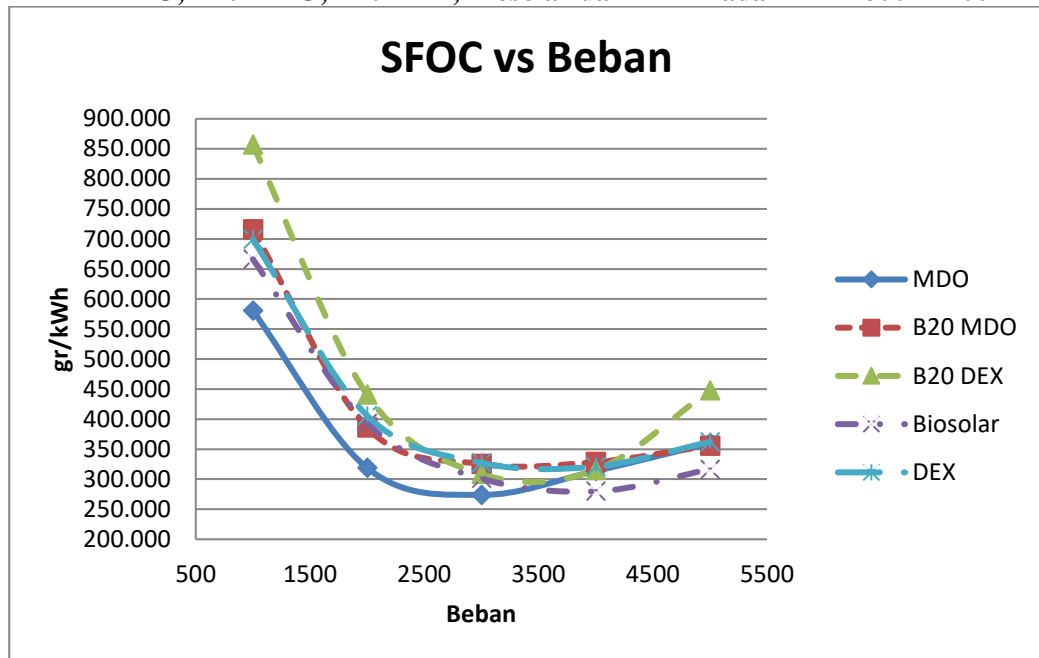
Grafik 4.11 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100



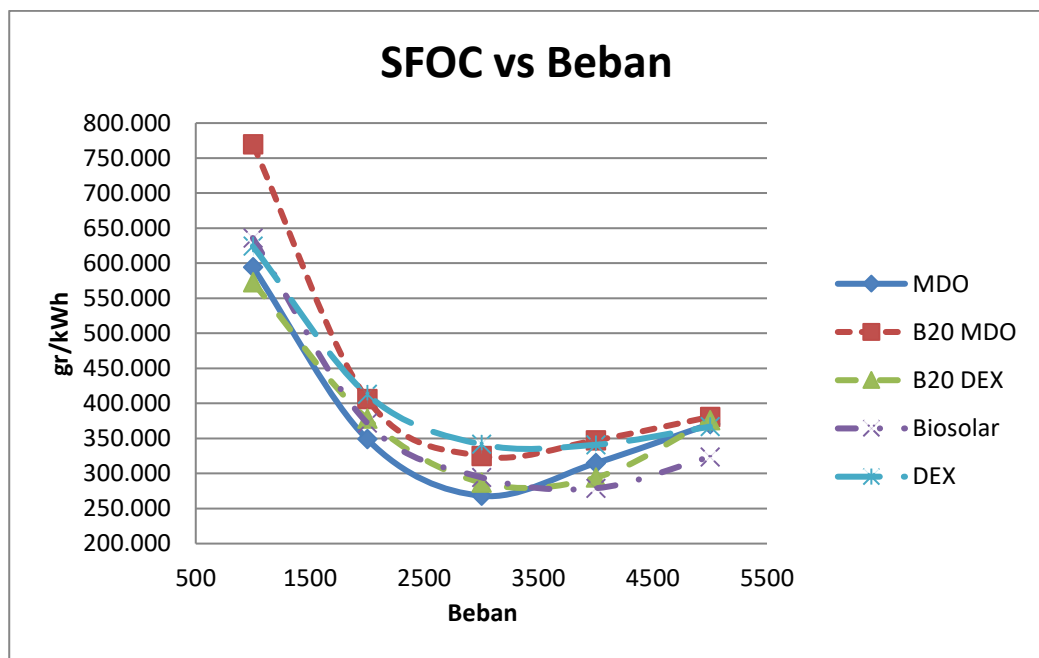
Grafik 4.12 Perbandingan Antara BMEP dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2200

Grafik 4.11 dan 4.12 di atas merupakan perbandingan antara nilai BMEP yang dihasilkan dengan beban maksimum pada tiap jenis bahan bakar pada putaran 2100 RPM dan 2200 RPM. Pada kedua grafik tersebut, bahan bakar Biosolar menghasilkan nilai BMEP terbesar pada beban maksimum dengan 90367,663 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2100 RPM tetapi, pada putaran 2200 RPM bahan bakar DEX yang menghasilkan nilai BMEP terbesar dengan 91573,0635 N/m<sup>2</sup>. Pada kedua grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai BMEP yang dihasilkan jenis bahan bakar B20 MDO meningkat menjadi berada di atas bahan bakar B20 DEX dengan selisih 787,23 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2100 RPM tetapi turun lagi menjadi di bawah B20 DEX dengan selisih 464,821 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2200 RPM. Sedangkan minyak MDO menghasilkan nilai BMEP sebesar 85776,842 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2100 RPM, dan 88428,6267 N/m<sup>2</sup> pada putaran 2200 RPM.

#### 4.3.7 Perbandingan Antara SFOC Dengan Beban Terhadap Jenis Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1800 - 2200

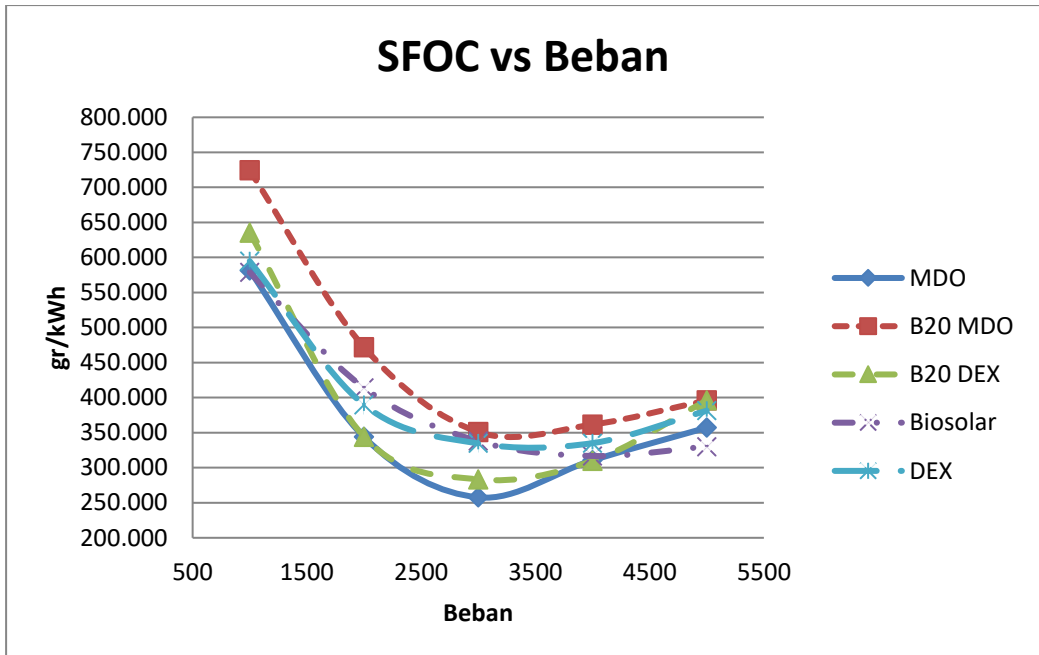


Grafik 4.13 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1800

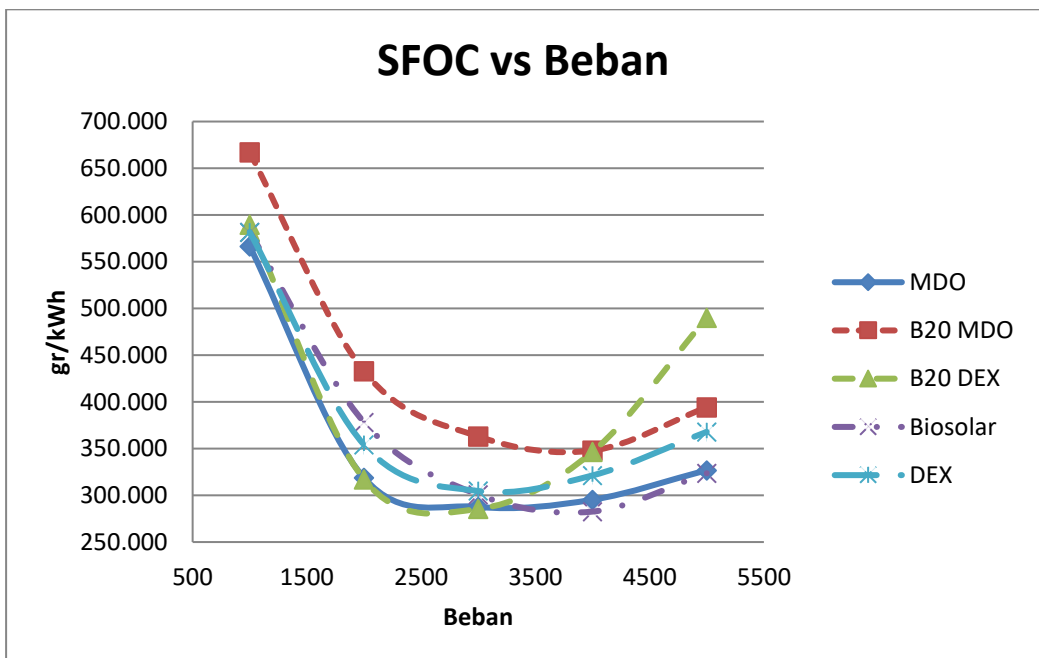


Grafik 4.14 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 1900

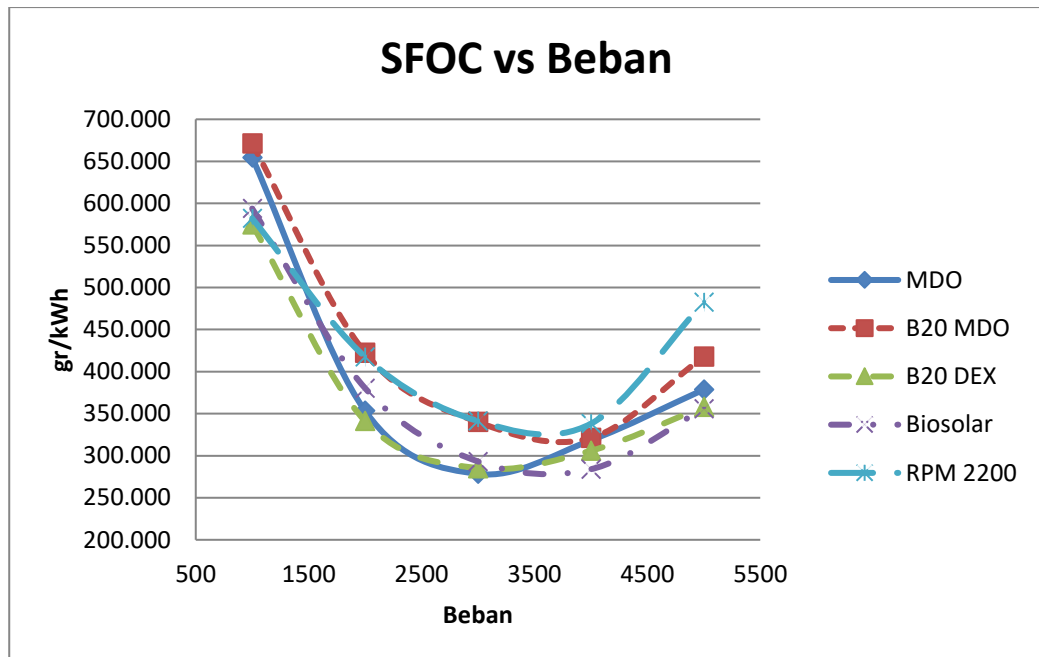




Grafik 4.15 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2000



Grafik 4.16 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX Pada RPM 2100



Grafik 4.17 Perbandingan Antara SFOC dengan Beban pada Bahan Bakar MDO, B20 MDO, B20 DEX, Biosolar dan DEX pada RPM 2200

Pada grafik 4.13 sampai 4.17 dapat dilihat bahwa untuk bahan bakar MDO, nilai SFOC terbaik pada putaran mesin 2000 RPM di beban 3000 Watt dengan nilai 257,737 gr/kWh. Nilai SFOC terbaik dari bahan bakar B20 MDO terdapat pada pembebanan 4000 Watt dengan putaran mesin 2200 RPM sebesar 321,077 gr/kWh. Pada bahan bakar B20 DEX, nilai SFOC terbaik berada di putaran mesin 2000 RPM dengan pembebanan 3000 Watt sebesar 283,467 gr/kWh. Bahan bakar Biosolar menghasilkan nilai SFOC terbaik pada putaran mesin 1900 RPM dengan pembebanan 4000 Watt sebesar 278,934 gr/kWh. Bahan bakar DEX menghasilkan SFOC terbaik pada putaran mesin 2100 RPM dengan pembebanan 3000 Watt sebesar 304,640 gr/kWh.

#### 4.4 Pengaruh Biodiesel *Lard Oil* Dalam Pengujian Proses Pembakaran (*Combustion Process*) Motor Diesel

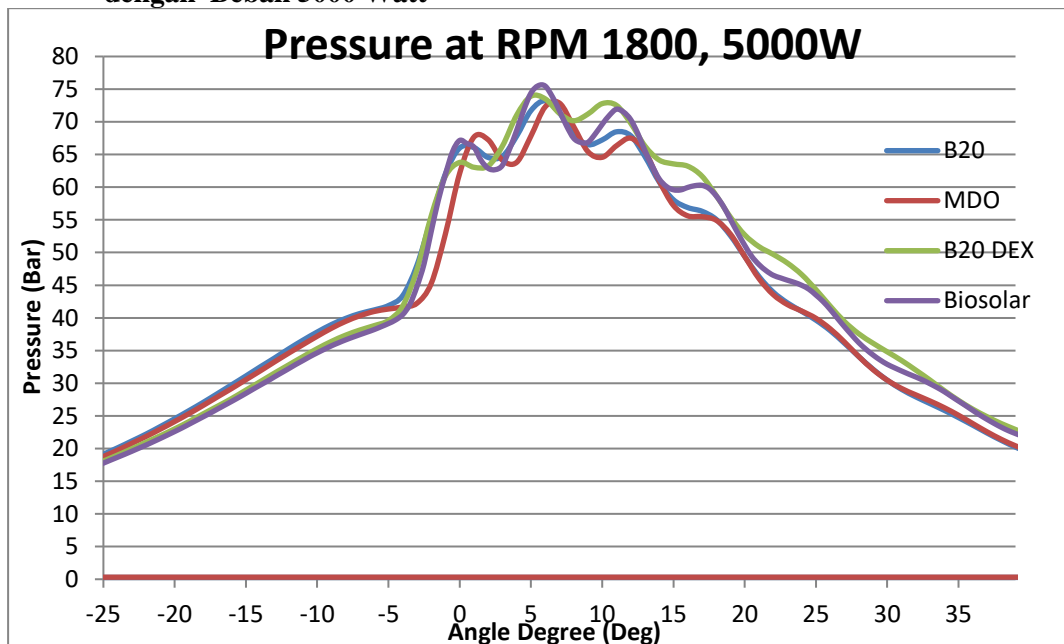
Pengujian performansi *engine* yang telah dilakukan terhadap pengaruh bahan bakar biodiesel bertujuan untuk mengetahui daya, torsi, BMEP dan SFOC. Untuk mengetahui lebih detail dalam karakteristik biodiesel terhadap *engine* harus dilakukan penelitian yang berkelanjutan yaitu analisa *Combustion Process*.

Pada penelitian ini dilakukan analisa *Combustion Process* untuk mengetahui pengaruh biodiesel *lard oil* terhadap proses pembakaran mesin diesel. Hasil percobaan ini nantinya akan menentukan analisa maksimum *pressure*, *heat release* dan *knocking* pada putaran *engine* 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100

RPM dan 2200 RPM. Pembebanan pada masing-masing putaran sebesar 1000 Watt, 2000 Watt, 3000 Watt, 4000 Watt dan 5000 Watt.

Jenis bahan bakar yang akan digunakan dalam percobaan ini ada 4. Yang pertama menggunakan jenis bahan bakar Biosolar milik PT. PERTAMINA. Jenis bahan bakar yang kedua menggunakan campuran antara biodiesel *lard oil* sebesar 20% dengan minyak Pertamina DEX sebesar 80% (B20 DEX). Jenis bahan bakar yang ketiga menggunakan campuran biodiesel *lard oil* sebesar 20% minyak MDO sebesar 80% (B20 MDO) dan jenis bahan bakar keempat adalah minyak MDO. Untuk mengetahui proses pembakaran mesin diesel, hanya terdapat grafik yang diperoleh dari alat *combustion analyzer* yang berupa tabel yang nantinya akan ditampilkan pada lampiran untuk analisa maksimum *pressure*, *heat release* dan *knocking*.

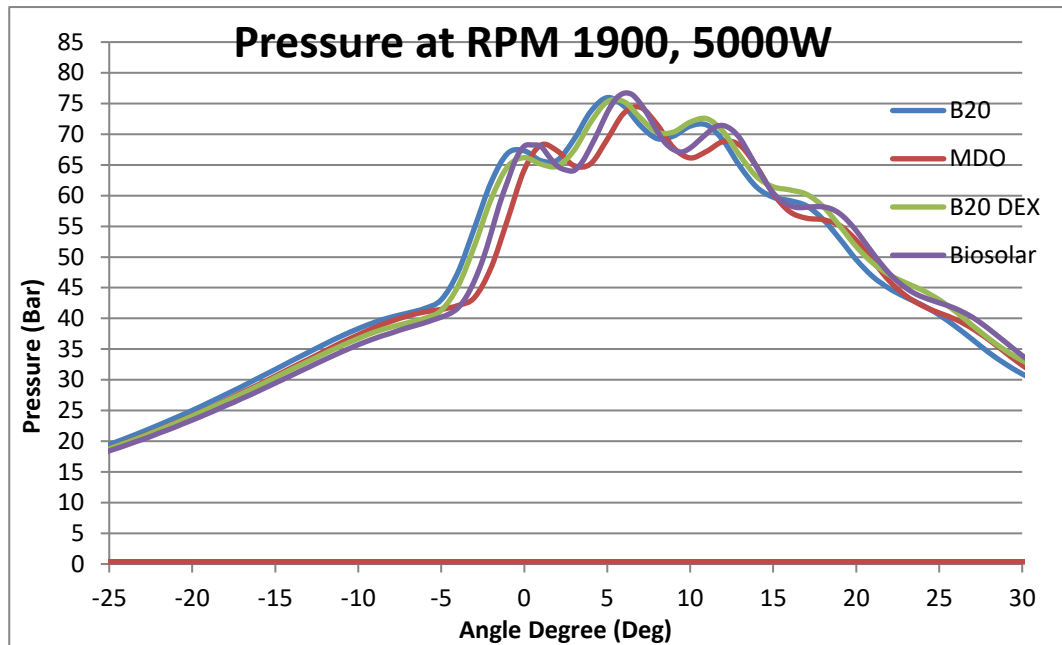
#### 4.4.1 Analisa Maksimum *Pressure* Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar Pada Putaran 1800-2200 RPM dengan Beban 5000 Watt



Grafik 4.18 Maksimum *Pressure* Pada Putaran 1800 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

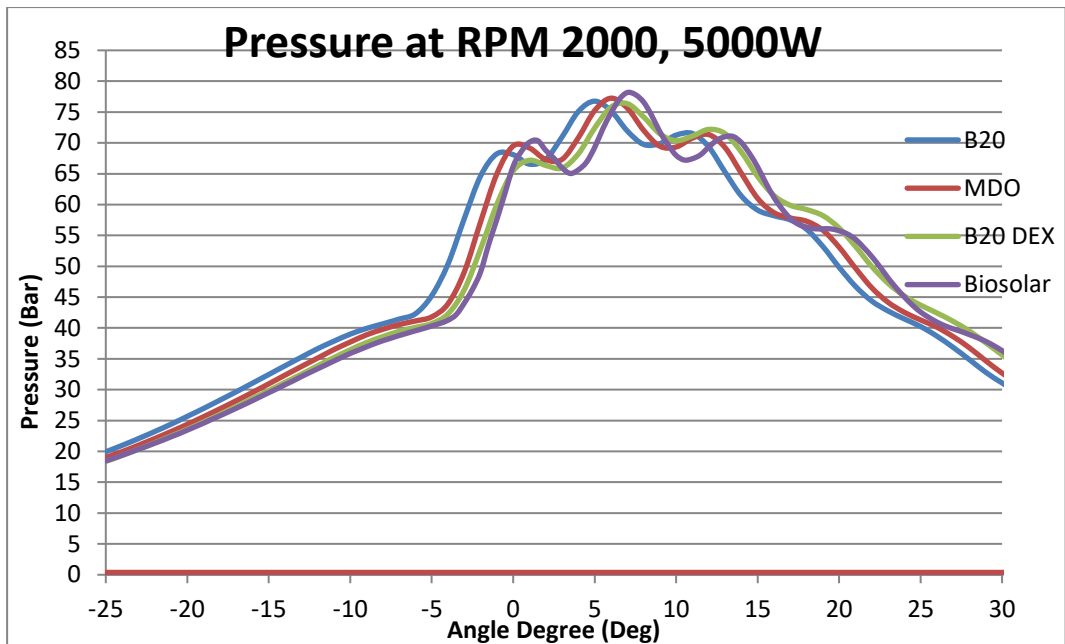
Grafik 4.18 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik di atas merupakan perbandingan Maksimum *Pressure*. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Dari Grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik teratas yaitu pada nilai 75,47 bar dan posisi 6° setelah TMA, kemudian disusul oleh berwarna hijau yaitu B20 DEX dengan nilai 74,4 bar pada posisi 5° setelah TMA. Minyak MDO dengan garis

berwarna merah dengan nilai 72,868 bar pada posisi 7<sup>0</sup> setelah TMA. Bahan bakar B20 MDO yang berwarna biru memiliki tekanan paling rendah dengan nilai 72,29 bar pada posisi 6<sup>0</sup>.



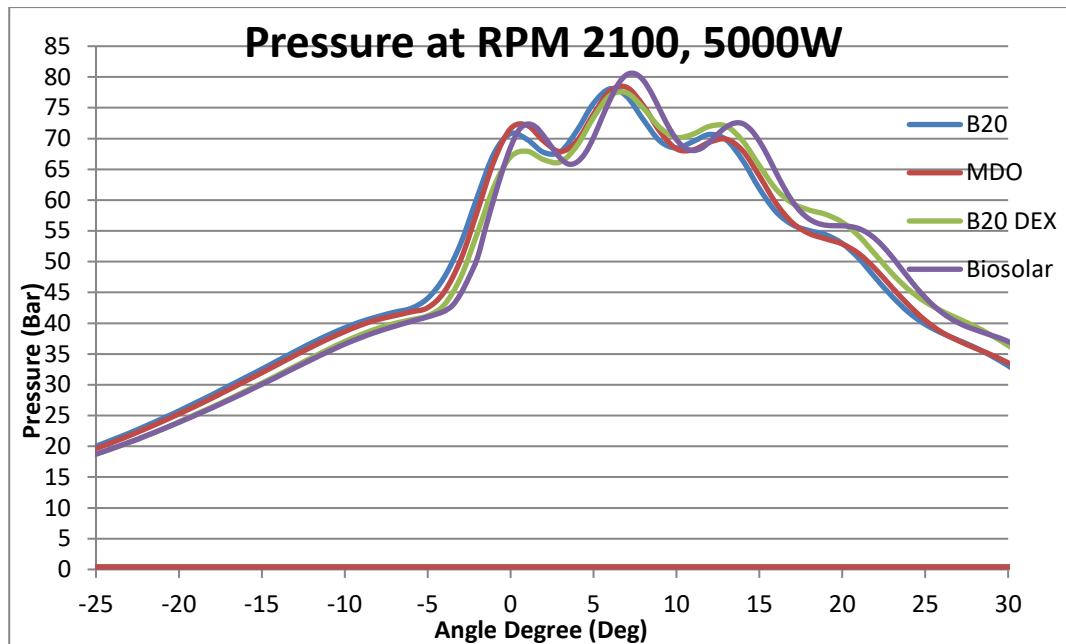
Grafik 4.19 Maksimum *Pressure* Pada Putaran 1900 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

Grafik 4.19 di atas menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik di atas merupakan perbandingan Maksimum *Pressure*. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18<sup>0</sup> sebelum TMA. Dari Grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik teratas yaitu pada nilai 76,44 bar dan posisi 6,6<sup>0</sup> setelah TMA, kemudian disusul oleh berwarna biru yaitu B20 MDO dengan nilai 75,95 bar pada posisi 5<sup>0</sup> setelah TMA. Minyak B20 DEX dengan garis berwarna hijau dengan nilai 75,297 bar pada posisi 6<sup>0</sup> setelah TMA. Bahan bakar MDO dengan warna merah memiliki tekanan paling rendah dengan nilai 74,37 bar pada posisi 7<sup>0</sup>.



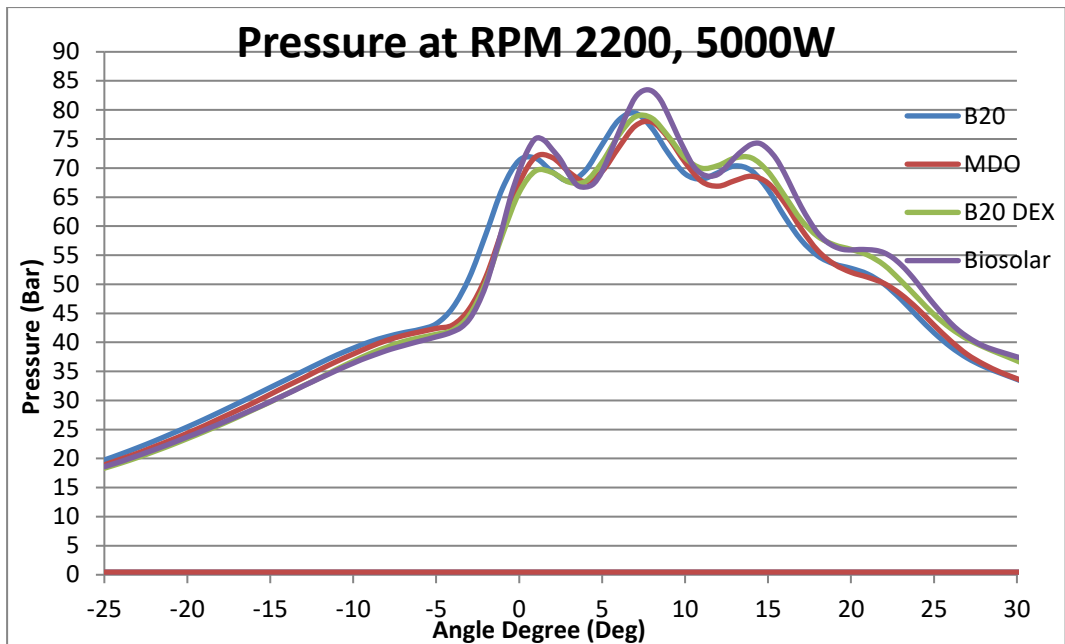
Grafik 4.20 Maksimum *Pressure* Pada Putaran 2000 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

Grafik 4.20 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik di atas merupakan perbandingan Maksimum *Pressure*. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi  $18^{\circ}$  sebelum TMA. Dari Grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik teratas yaitu pada nilai 78,16 bar dan posisi  $7^{\circ}$  setelah TMA, kemudian disusul oleh berwarna merah yaitu minyak MDO dengan nilai 77,24 bar pada posisi  $6^{\circ}$  setelah TMA. Minyak B20 MDO dengan garis berwarna biru dengan nilai 76,76 bar pada posisi  $5^{\circ}$  setelah TMA. Bahan bakar B20 DEX dengan warna hijau memiliki tekanan paling rendah dengan nilai 76,36 bar pada posisi  $7^{\circ}$ .



Grafik 4. 21 Maksimum *Pressure* Pada Putaran 2100 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

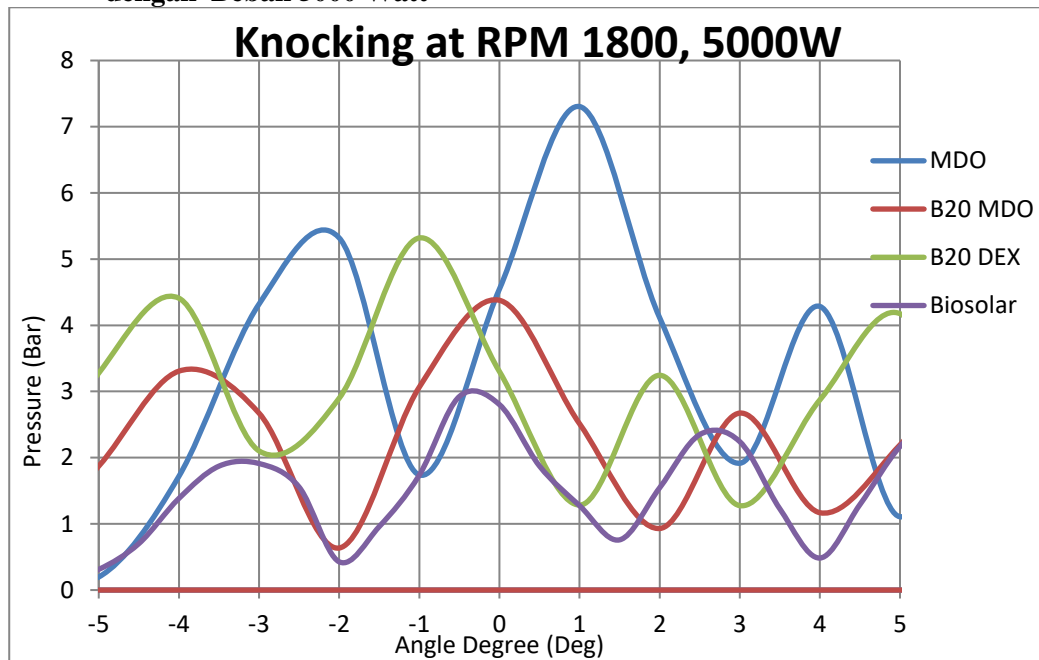
Grafik 4.21 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik di atas merupakan perbandingan Maksimum *Pressure*. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi  $18^0$  sebelum TMA. Dari Grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik teratas yaitu pada nilai 80,535 bar dan posisi  $7,5^0$  setelah TMA, kemudian disusul oleh berwarna merah yaitu minyak MDO dengan nilai 78,32 bar pada posisi  $7^0$  setelah TMA. Minyak B20 MDO dengan garis berwarna biru dengan nilai 78,087 bar pada posisi  $6^0$  setelah TMA. Bahan bakar B20 DEX dengan warna hijau memiliki tekanan paling rendah dengan nilai 77,42 bar pada posisi  $7^0$ .



Grafik 4.22 Maksimum *Pressure* Pada Putaran 2200 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

Grafik 4.22 di atas menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik tersebut merupakan perbandingan Maksimum *Pressure*. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi  $18^{\circ}$  sebelum TMA. Dari Grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik teratas yaitu pada nilai 83,266 bar dan posisi  $8^{\circ}$  setelah TMA, kemudian disusul oleh berwarna biru yaitu minyak B20 MDO dengan nilai 79,45 bar pada posisi  $7^{\circ}$  setelah TMA. Bahan bakar B20 DEX dengan garis berwarna hijau dengan nilai 78,57 bar pada posisi  $8^{\circ}$  setelah TMA. Minyak MDO dengan warna merah memiliki tekanan paling rendah dengan nilai 77,93 bar pada posisi  $8^{\circ}$ .

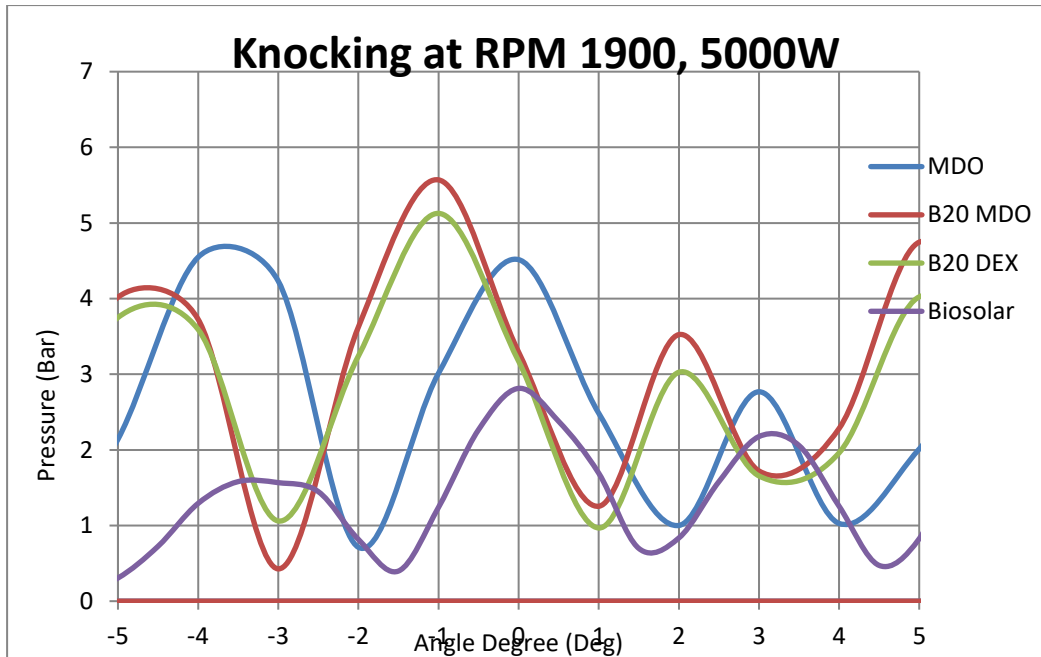
#### 4.4.2 Analisa *Knocking Detection* Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar Pada Putaran 1800-2200 RPM dengan Beban 5000 Watt



Grafik 4.23 *Knocking Detection* Pada Putaran 1800 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

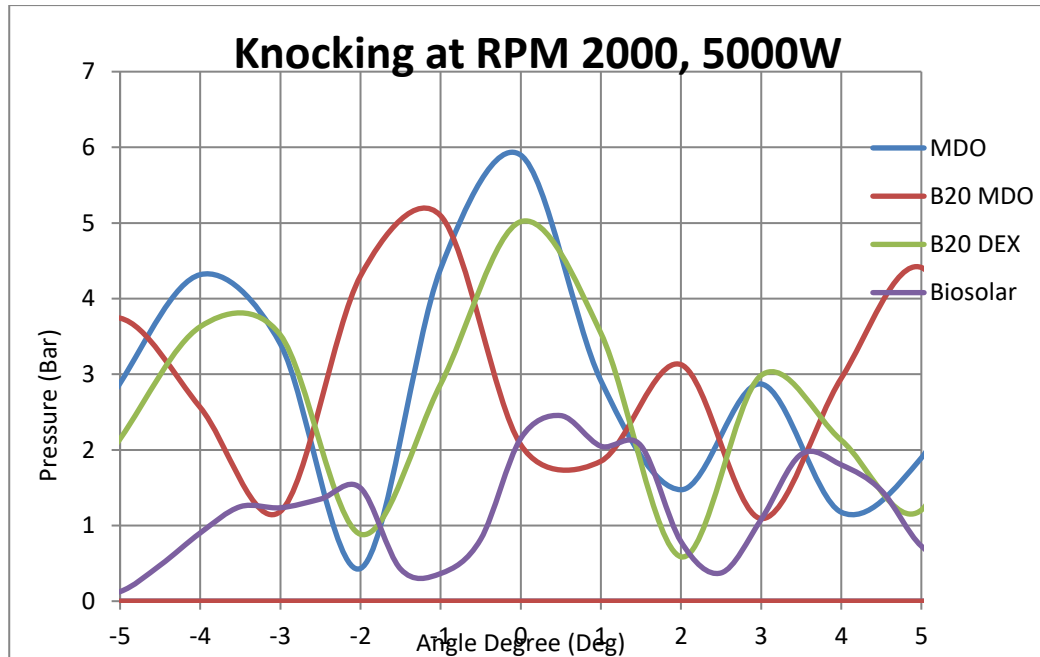
Grafik 4.23 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Knocking Detection*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Dari grafik diatas didapatkan perbedaan tekan pada perpindahan satu derajat angle. Untuk garis berwarna biru yaitu minyak MDO memiliki selisih tekanan sebesar 2,759 bar, kemudian untuk garis berwarna hijau yaitu B20 DEX dengan nilai sebesar 2,422 bar. B20 MDO dengan garis berwarna merah dengan selisih tekanan sebesar 1,313 bar dan yang terakhir Biosolar dengan warna ungu selisih tekanannya sebesar 1,073 bar.





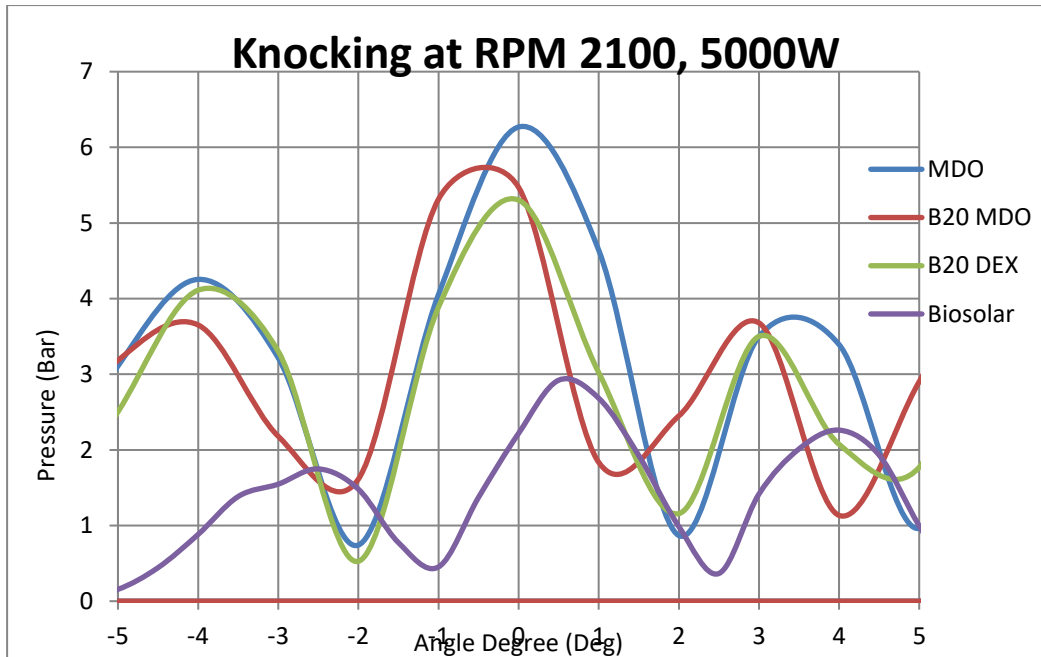
Grafik 4.24 *Knocking Detection* Pada Putaran 1900 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

Grafik 4.24 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Knocking Detection*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Dari grafik diatas didapatkan perbedaan tekanan pada perpindahan satu derajat angle. Untuk garis berwarna merah yaitu minyak B20 MDO memiliki selisih tekanan sebesar 1,947 bar, kemudian untuk garis berwarna hijau yaitu B20 DEX dengan nilai sebesar 1,887 bar. Biosolar dengan garis berwarna ungu dengan selisih tekanan sebesar 1,574 bar dan yang terakhir minyak MDO dengan warna biru selisih tekanannya sebesar 1,504 bar.



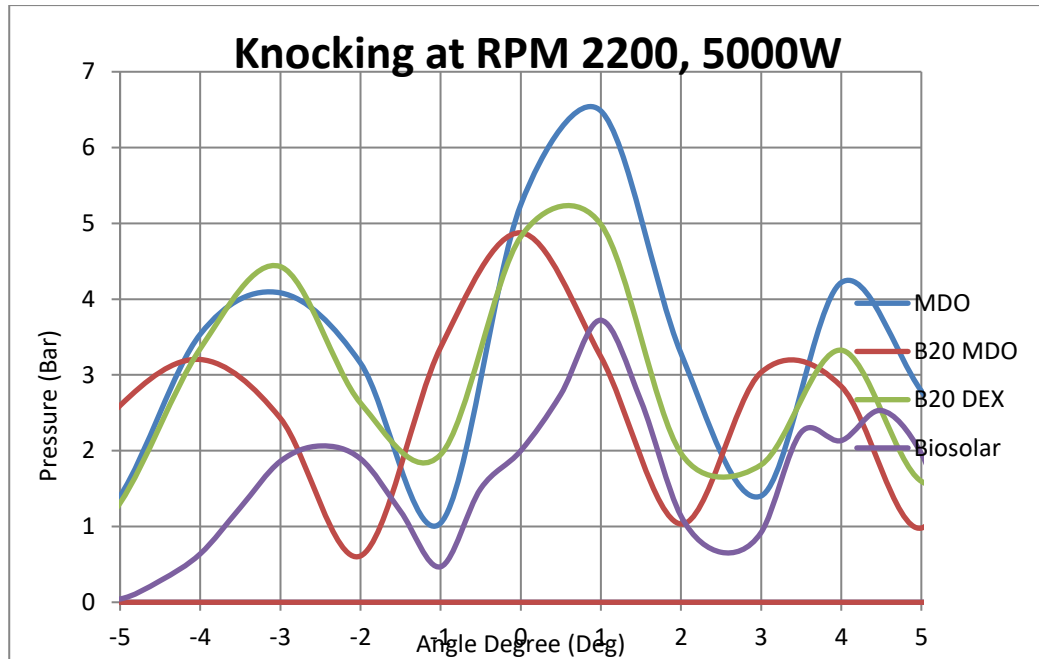
Grafik 4.25 *Knocking Detection* Pada Putaran 2000 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

Grafik 4.25 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Knocking Detection*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Dari grafik diatas didapatkan perbedaan tekanan pada perpindahan satu derajat angle. Untuk garis berwarna hijau yaitu minyak B20 DEX memiliki selisih tekanan sebesar 2,149 bar, kemudian untuk garis berwarna ungu yaitu Biosolar dengan nilai sebesar 1,636 bar. Minyak MDO dengan garis berwarna biru dengan selisih tekanan sebesar 1,504 bar dan yang terakhir B20 MDO dengan warna merah selisih tekanannya sebesar 0,798 bar.



Grafik 4.26 *Knocking Detection* Pada Putaran 2100 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

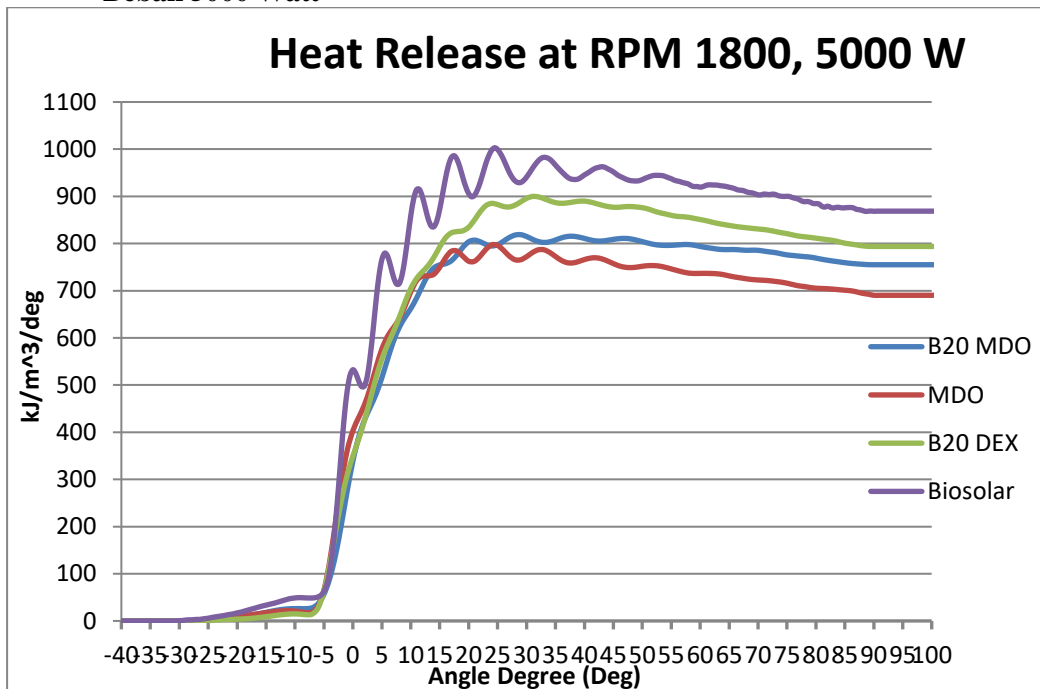
Grafik 4.26 menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Knocking Detection*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Dari grafik diatas didapatkan perbedaan tekanan pada perpindahan satu derajat angle. Untuk garis berwarna merah yaitu minyak B20 MDO memiliki selisih tekanan sebesar 2,5 bar, kemudian untuk garis berwarna biru yaitu minyak MDO dengan nilai sebesar 2,216 bar. B20 DEX dengan garis berwarna hijau dengan selisih tekanan sebesar 1,7 bar dan yang terakhir Biosolar dengan warna ungu selisih tekanannya sebesar 1,4 bar.



Grafik 4.27 *Knocking Detection* Pada Putaran 2200 RPM dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar

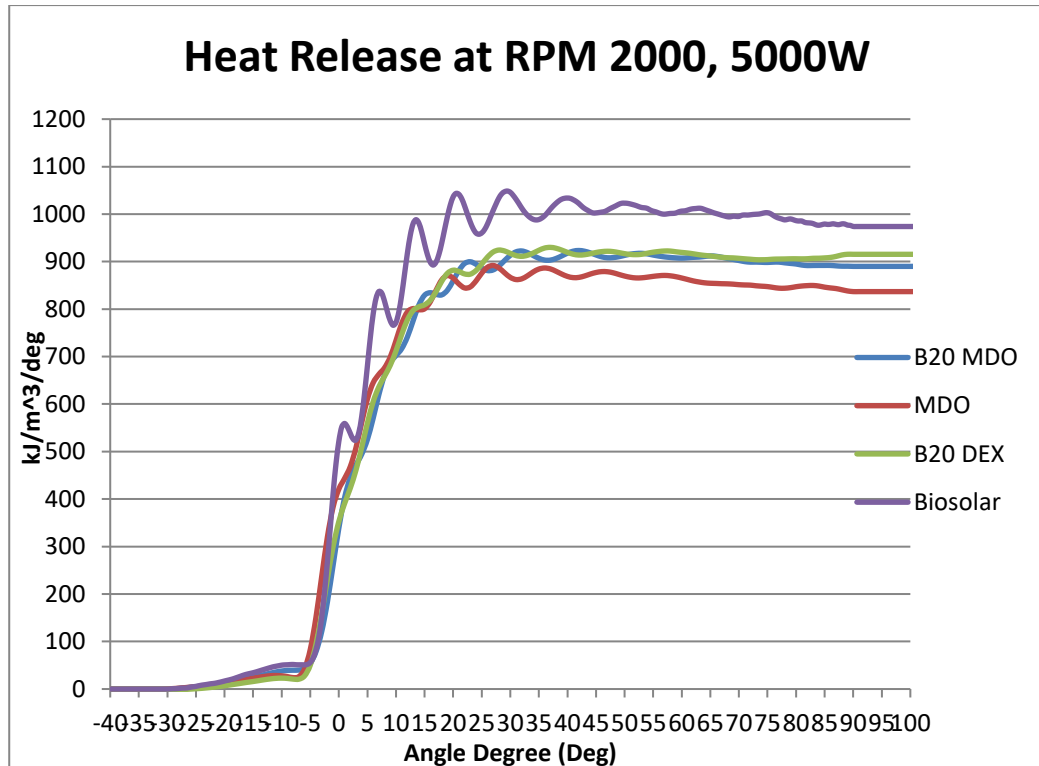
Grafik 4.27 di atas menunjukkan variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Knocking Detection*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Dari grafik diatas didapatkan perbedaan tekanan pada perpindahan satu derajat angle. Untuk garis berwarna biru yaitu minyak MDO memiliki selisih tekanan sebesar 1,79 bar, kemudian untuk garis berwarna hijau yaitu Biosolar dengan nilai sebesar 1,703 bar. B20 MDO dengan garis berwarna merah dengan selisih tekanan sebesar 1,626 bar dan yang terakhir B20 DEX dengan warna hijau selisih tekanannya sebesar 1,51 bar.

#### 4.4.3 Analisa *Heat Release* Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar Pada Putaran 1800-2200 RPM dengan Beban 5000 Watt



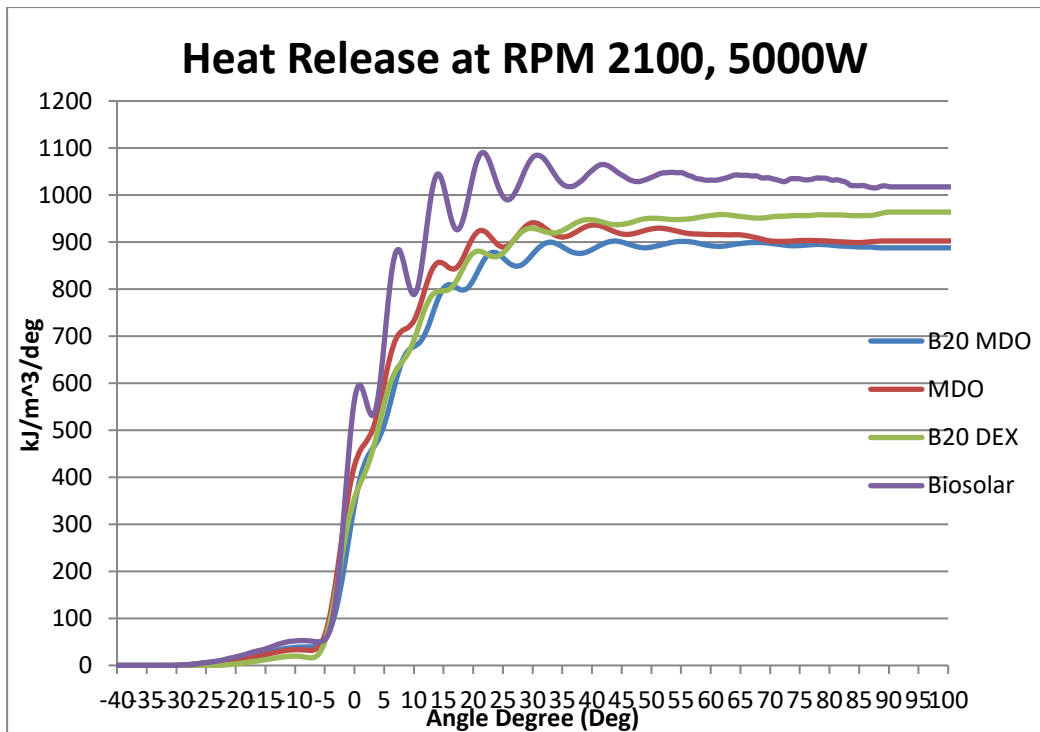
Grafik 4.28 *Heat Release* Pada RPM 1800 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.28 menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Heat Release*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik tertinggi yaitu dengan energi sebesar 990,555 kJ/m³/deg dan pada posisi 25° setelah TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna hijau yaitu B20 DEX dengan energi sebesar 895,19 kJ/m³/deg dan pada posisi 33° setelah TMA. Bahan bakar B20 MDO dengan garis berwarna biru menghasilkan panas sebesar 814,96 kJ/m³/deg dan pada posisi 30° setelah TMA, serta terakhir garis berwarna merah yaitu minyak MDO dengan energi sebesar 796,03 kJ/m³/deg dan pada posisi 26° setelah TMA.



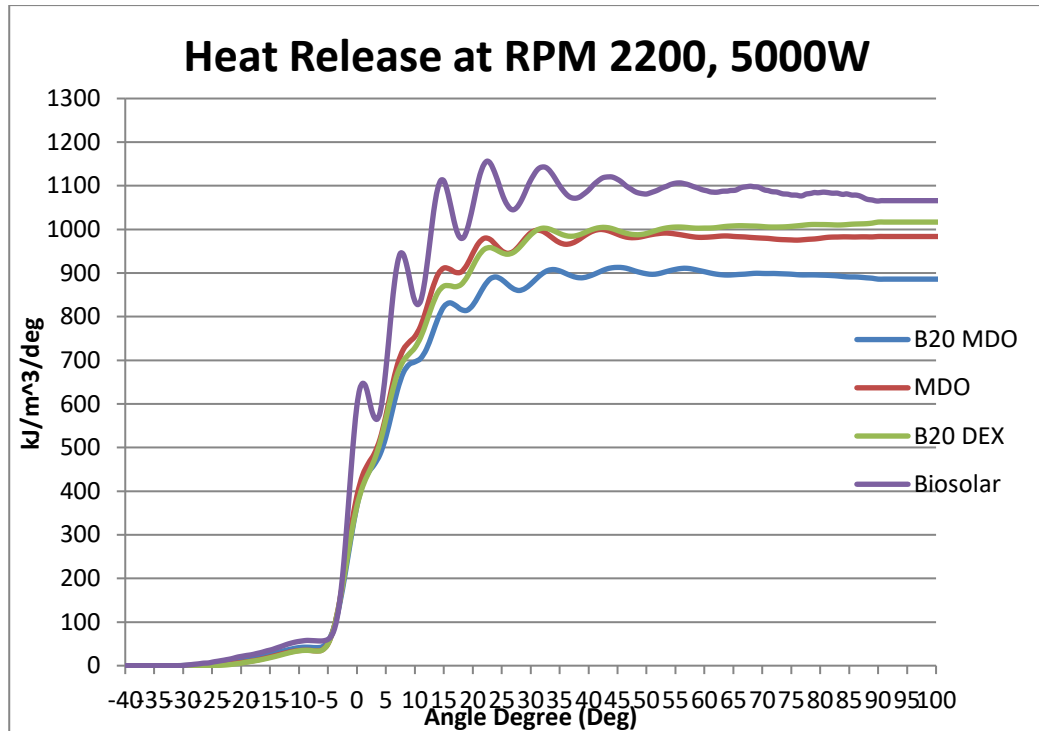
Grafik 4.29 *Heat Release* Pada RPM 2000 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.29 menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Heat Release*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik tertinggi yaitu dengan energi sebesar 1048,522 kJ/m³/deg dan pada posisi 39,5° setelah TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna hijau yaitu B20 DEX dengan energi sebesar 929,98 kJ/m³/deg dan pada posisi 37° setelah TMA. Bahan bakar B20 MDO dengan garis berwarna biru menghasilkan panas sebesar 923,4 kJ/m³/deg dan pada posisi 42° setelah TMA, serta terakhir garis berwarna merah yaitu minyak MDO dengan energi sebesar 891,81 kJ/m³/deg dan pada posisi 27° setelah TMA.



Grafik 4.30 *Heat Release* Pada RPM 2100 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.30 menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Heat Release*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik tertinggi yaitu dengan energi sebesar 1088,337 kJ/m³/deg dan pada posisi 22° setelah TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna hijau yaitu B20 DEX dengan energi sebesar 947,612 kJ/m³/deg dan pada posisi 39° setelah TMA. Minyak MDO dengan garis berwarna merah menghasilkan panas sebesar 941,25 kJ/m³/deg dan pada posisi 30° setelah TMA, serta terakhir garis berwarna biru yaitu B20 MDO dengan energi sebesar 921,3 kJ/m³/deg dan pada posisi 55° setelah TMA.

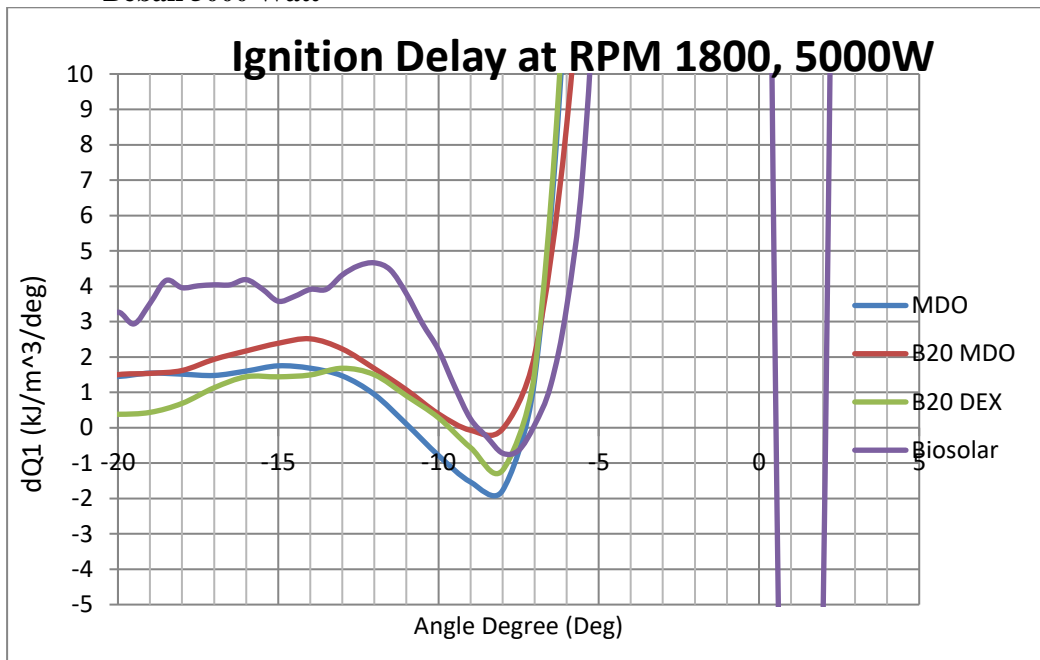


Grafik 4.31 *Heat Release* Pada RPM 2200 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.31 menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dihasilkan dari proses pembakaran. Grafik diatas merupakan grafik perbandingan *Heat Release*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari grafik tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna ungu yaitu Biosolar berada pada titik tertinggi yaitu dengan energi sebesar 1152,14 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada posisi 23<sup>0</sup> setelah TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna hijau yaitu Biosolar dengan energi sebesar 1005,28 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada posisi 55<sup>0</sup> setelah TMA. Minyak MDO dengan garis berwarna merah menghasilkan panas sebesar 999,831 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada posisi 42<sup>0</sup> setelah TMA, serta terakhir garis berwarna biru yaitu B20 MDO dengan energi sebesar 912,88 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada posisi 45<sup>0</sup> setelah TMA.

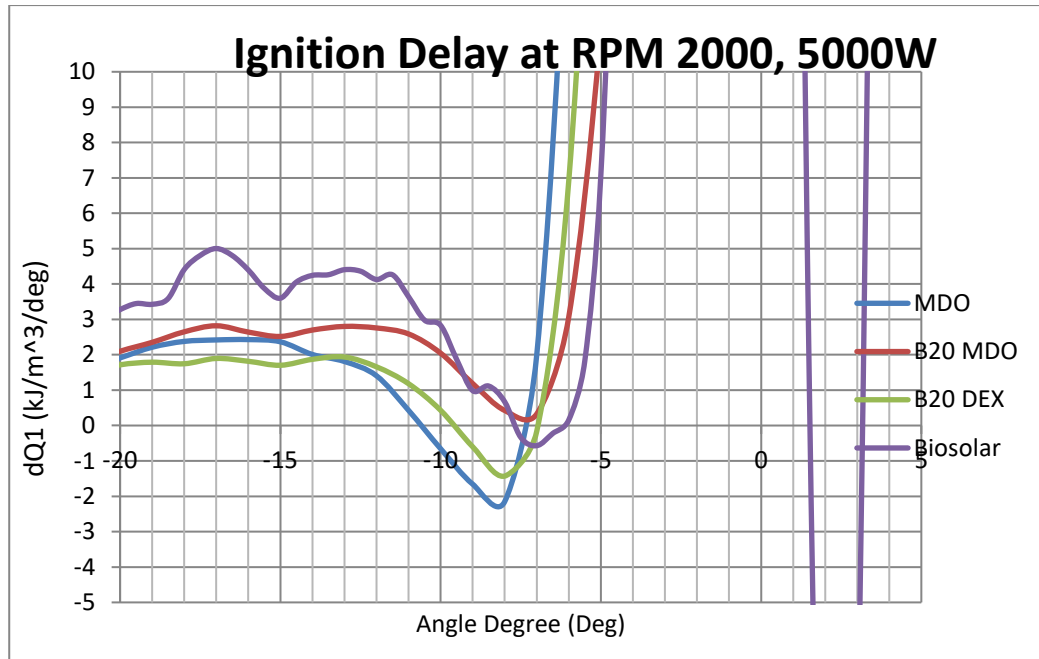


#### 4.4.4 Analisa *Ignition Delay* Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar Pada Putaran 1800-2200 RPM dengan Beban 5000 Watt



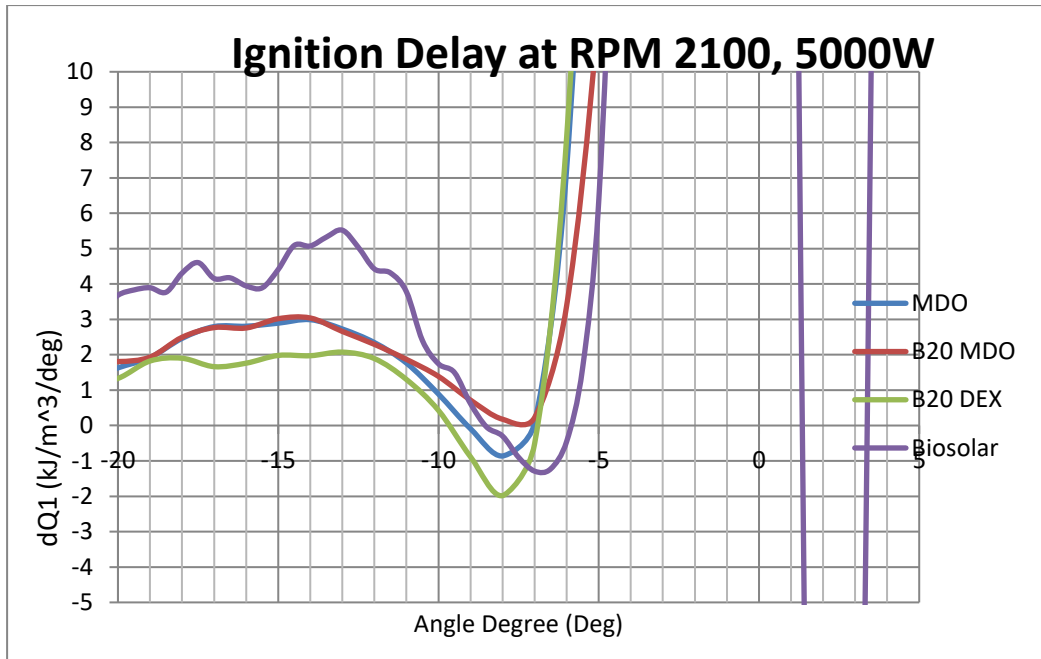
Grafik 4.32 *Ignition Delay* Pada RPM 1800 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.32 di atas menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Ignition Delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi  $18^\circ$  sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna merah yaitu B20 MDO mengalami waktu penginjeksian paling cepat yaitu  $8,4^\circ$  sebelum TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna biru yaitu minyak MDO pada posisi  $8,3^\circ$  sebelum TMA, B20 DEX dengan garis berwarna hijau pada posisi  $8,2^\circ$  sebelum TMA, serta terakhir garis berwarna ungu yaitu Biosolar pada posisi  $7,9^\circ$  sebelum TMA.



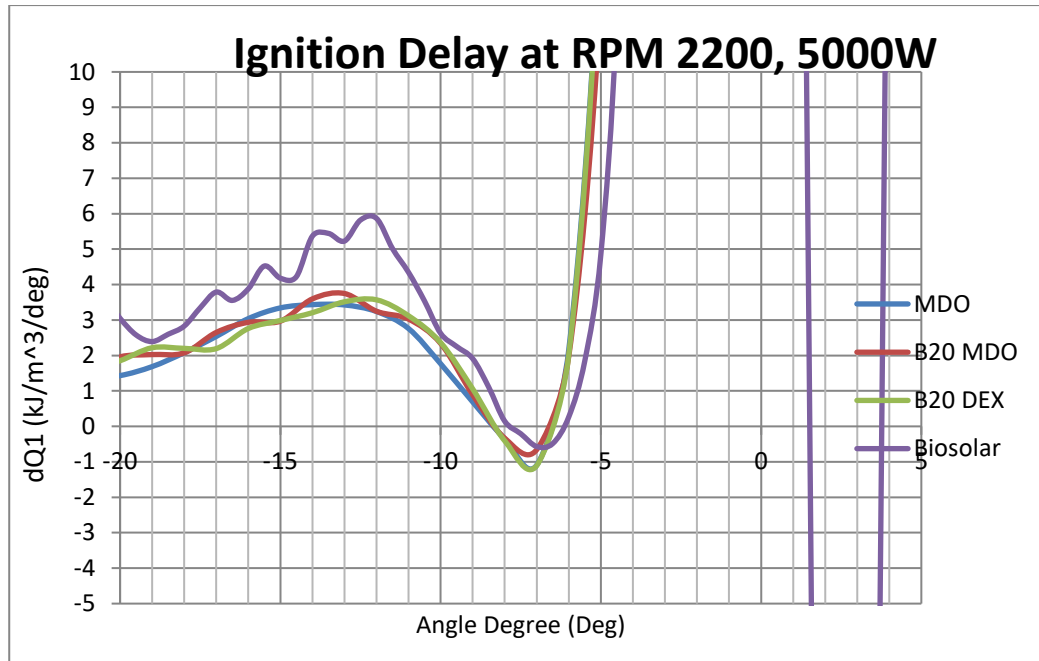
Grafik 4.33 *Ignition Delay* Pada RPM 2000 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.33 di atas menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Ignition Delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi  $18^0$  sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna biru yaitu minyak MDO mengalami waktu penginjeksian paling cepat yaitu  $8,2^0$  sebelum TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna hijau yaitu minyak B20 DEX pada posisi  $8^0$  sebelum TMA, B20 MDO dengan garis berwarna merah pada posisi  $7,3^0$  sebelum TMA, serta terakhir garis berwarna ungu yaitu Biosolar pada posisi  $7,2^0$  sebelum TMA.



Grafik 4.34 *Ignition Delay* Pada RPM 2100 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Grafik 4.34 di atas menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Ignition Delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18<sup>0</sup> sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna biru yaitu minyak MDO dan garis berwarna hijau yaitu B20 DEX mengalami waktu penginjeksian paling cepat yaitu 7<sup>0</sup> sebelum TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna merah yaitu minyak B20 MDO pada posisi 7,4<sup>0</sup> sebelum TMA, serta terakhir garis berwarna ungu yaitu Biosolar pada posisi 6,8<sup>0</sup> sebelum TMA.



Grafik 4.35 *Ignition Delay* Pada RPM 2200 Dengan Beban 5000 Watt pada Bahan Bakar B20 MDO, Minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar.

Pada grafik 4.35 menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Ignition Delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara bahan bakar B20 MDO, minyak MDO, B20 DEX dan Biosolar. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18<sup>0</sup> sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis berwarna merah yaitu B20 MDO mengalami waktu penginjeksian paling cepat yaitu 7,3<sup>0</sup> sebelum TMA, kemudian disusul oleh garis berwarna biru yaitu minyak MDO dan garis berwarna hijau yaitu B20 DEX pada posisi 7,2<sup>0</sup> sebelum TMA, serta terakhir garis berwarna ungu yaitu Biosolar pada posisi 6,8<sup>0</sup> sebelum TMA.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian bahan bakar biodiesel *lard oil*, pengaruh dalam performansi dan proses pembakaran motor diesel dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji *properties* biodiesel *Lard Oil*, telah didapatkan bahwa kandungan *properties* yang dihasilkan sebagian telah memenuhi standar dari biodiesel nasional yang ditetapkan. Hanya saja untuk nilai densitas dari biodiesel *Lard Oil* kurang memenuhi standar, dimana nilai densitas yang telah ditetapkan adalah 850 – 890 kg/m<sup>3</sup> dan nilai densitas dari biodiesel *lard oil* sendiri adalah 830 kg/m<sup>3</sup>. *Flash Point* dari biodiesel *lard oil* yang masih berada di bawah standar nasional biodiesel membuat pembakaran yang kurang sempurna. Nilai LHV yang masih di bawah standar membuat daya yang dihasilkan lebih rendah.
2. Hasil proses uji performansi yang dapat diketahui dari 4 variabel diantaranya sebagai berikut:
  - a) Semakin besar putaran mesin, maka semakin besar daya yang bekerja pada mesin. Daya maksimum dicapai pada posisi RPM 2200 dengan menghasilkan daya sebesar 5,154 Kw. Pada penelitian ini, jenis bahan bakar yang menghasilkan daya paling besar yaitu Biosolar kemudian disusul dengan B20 DEX, B20 MDO kemudian minyak MDO.
  - b) Torsi didapatkan perhitungan dari daya, sehingga dapat disimpulkan bahwa torsi maksimum juga dicapai pada posisi RPM 2200 dengan menghasilkan torsi sebesar 22,344 N/m. Pada penelitian ini, jenis bahan bakar yang menghasilkan torsi paling besar yaitu Biosolar kemudian disusul dengan B20 DEX kemudian B20 MDO dan yang terakhir minyak MDO.
  - c) BMEP juga didapatkan dari perhitungan sama dengan daya dan torsi. Sehingga dihasilkan kesimpulan bahan bakar yang menghasilkan BMEP paling besar adalah Biosolar kemudian disusul dengan B20 DEX kemudian B20 MDO dan yang terakhir minyak MDO.
  - d) SFOC pada uji performansi dihasilkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai SFOC yang didapatkan semakin rendah. Namun, pada RPM 2000 SFOC mengalami peningkatan. Pada penelitian ini, jenis bahan bakar yang menghasilkan SFOC paling besar yaitu B20 MDO, kemudian disusul dengan B20 DEX. Bahan bakar yang menghasilkan nilai SFOC paling kecil adalah minyak MDO dan Biosolar.
3. Hasil proses pembakaran yang dapat diketahui dari variabel diantaranya sebagai berikut:
  - a) Untuk perbandingan *pressure* diantara keempat bahan bakar yang berada di puncak tertinggi hingga terendah tekanan maksimalnya adalah Biosolar, B20 DEX, MDO dan B20 MDO akan tetapi pada putaran atas mesin, *pressure* yang dihasilkan B20 MDO lebih tinggi dibanding minyak MDO.

- b) Untuk perbandingan diantara keempat bahan bakar yang paling tinggi produksi energi panasnya hingga yang paling rendah produksi energi panasnya adalah bahan bakar Biosolar, B20 DEX, MDO dan B20 MDO.
  - c) Untuk Knocking Detection, dari keempat bahan bakar B20 MDO yang paling berpotensi untuk terjadi Knocing.
  - d) Untuk perbandingan diantara keempat bahan bakar yang terbakar paling lama hingga paling cepat adalah bahan bakar Biosolar, B20 DEX, B20 MDO dan minyak MDO.
4. Dalam analisis performansi dan analisi proses pembakaran mesin dihasilkan bahwa Biodiesel *Lard Oil* merupakan bahan bakar yang cenderung menurunkan karakteristik dari bahan tercampurnya. Dapat dilihat dari data performa mesin yang menunjukkan daya, torsi serta nilai BMEP yang lebih rendah. Hal ini juga dapat dilihat dari grafik *maximum pressure* dan *heat release*, hasil dari biodiesel *lard oil* cenderung berada di bawah bahan bakar tercampurnya. Akan tetapi, biodiesel *Lard Oil* cenderung meningkatkan performa dari minyak MDO pada putaran atas mesin.

## 5.2 Saran

1. Dari segi ekonomi, proses pembuatan biodiesel dari *Lard Oil* tidak memerlukan biaya yang cukup banyak. Hal ini dikarenakan bahan mentah *Lard Oil* didapat dari hewan ternak. Akan tetapi jumlah ternak yang terbatas menjadi penghambat untuk diproduksi secara massal.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai gas emisi yang dihasilkan dari biodiesel *Lard Oil* yang nantinya apakah emisi yang dihasilkan dari bahan bakar biodiesel *Lard Oil* lebih rendah dari biosolar atau sebaliknya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyanti, J. A. R, dan Utomo, J. 2002. *Biodiesel as a Future Fuel*, Hlm. 87-93, Prosiding Design and Application of Technology, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya.
- Ejikeme, P. M. 2013. *Pig-fat (Lard) derivatives as alternative diesel fuel in compression ignition engines*. Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels Vol. 4(1), Hlm. 7-11.
- Dewi, R. G. dan Soerawidjaja, T. H. 2004. *Integrasi Pertimbangan Lingkungan pada Perancangan Sistem Proses Produksi Biodiesel dari Minyak-minyak Nabati*. Prosiding Seminar Nasional dan Rekayasa Kimia dan Proses. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Fathallah, Aguk Zuhdi M. 2003. Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Motor Diesel. Laporan Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Heywood, J. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Inc.
- Janchiv, Azjargal. 2012. *High quality biodiesel production from pork lard by high solvent additive*. ScienceAsia 38, Hlm. 95-101.
- Meher, L. C., Sagar, D. V., dan Naik, S. N. 2006. "Technical aspects of Biodiesel Production by Transesterification a Review", *Renew Sustainable Energy. Rev.* Vol. 10, Hlm. 248-268.
- Prabowo, Dibyo, Dkk. 2014. *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan(Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping*. IAARD Press. Jakarta
- Pradipta, Oksi Sigit. 2008. Studi Komparasi Unjuk Kerja Mesin Diesel. Laporan Tugas Akhir. Universitas Indonesia Jakarta.
- Puspitasari, A., dan Setiawan, H. 2010. PEMBUATAN BIODIESEL DARI LARD OIL. WIDYA TEKNIK Vol. 9, No. 2, hal. 111-120. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
- Sathiyagnanam, A. P. 2012. *BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE PORK LARD AND AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ITS USE AS AN ALTERNATE FUEL IN A DI DIESEL ENGINE*. International Journal of. Mechanical Engineering & Robotics Research, Hlm. 176-191.
- Sutrisno, B., dan Hidayat, A. 2002. *Pemanfaatan Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Hlm. 46-51. Prosiding Seminar Nasional Design and Application of Technology. Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya.

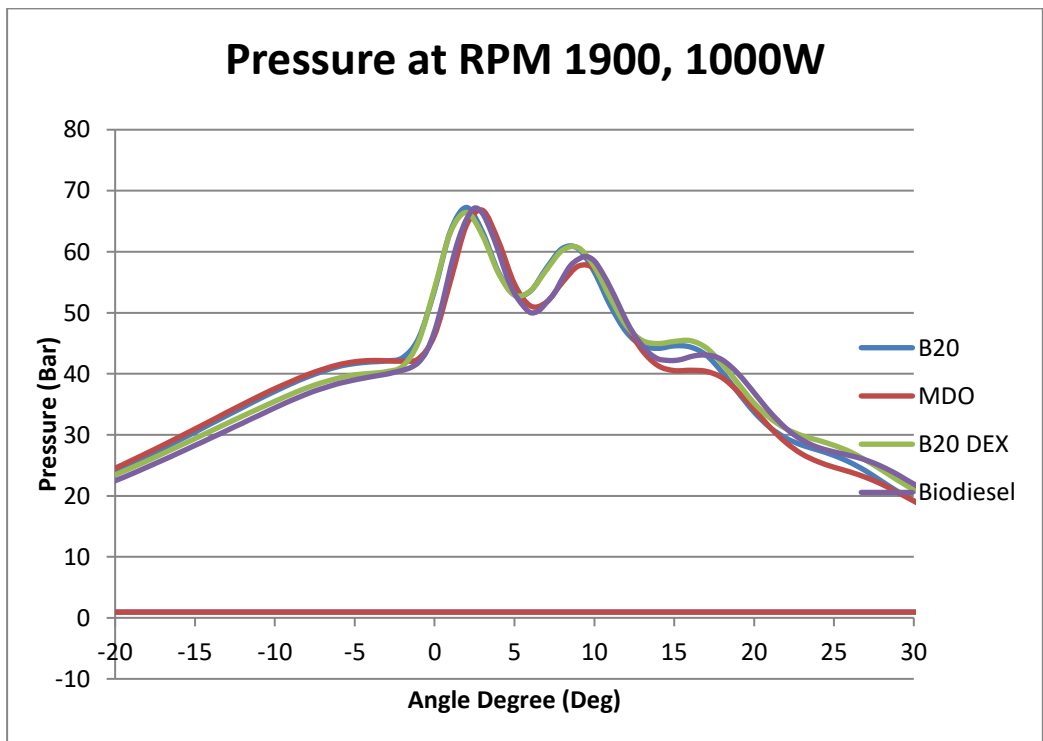
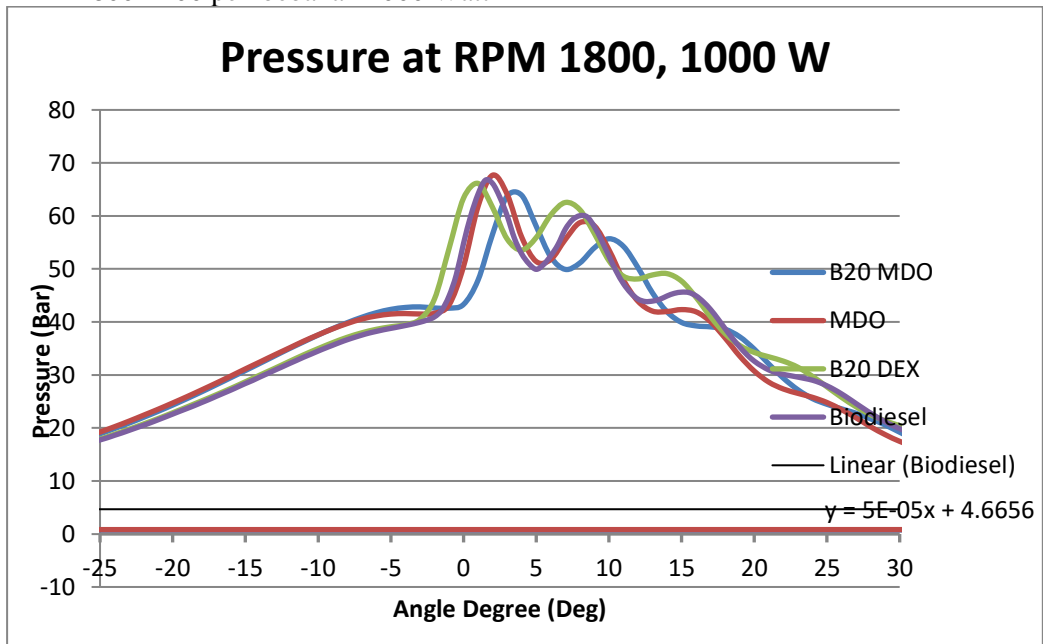
“Halaman Sengaja Dikosongkan”



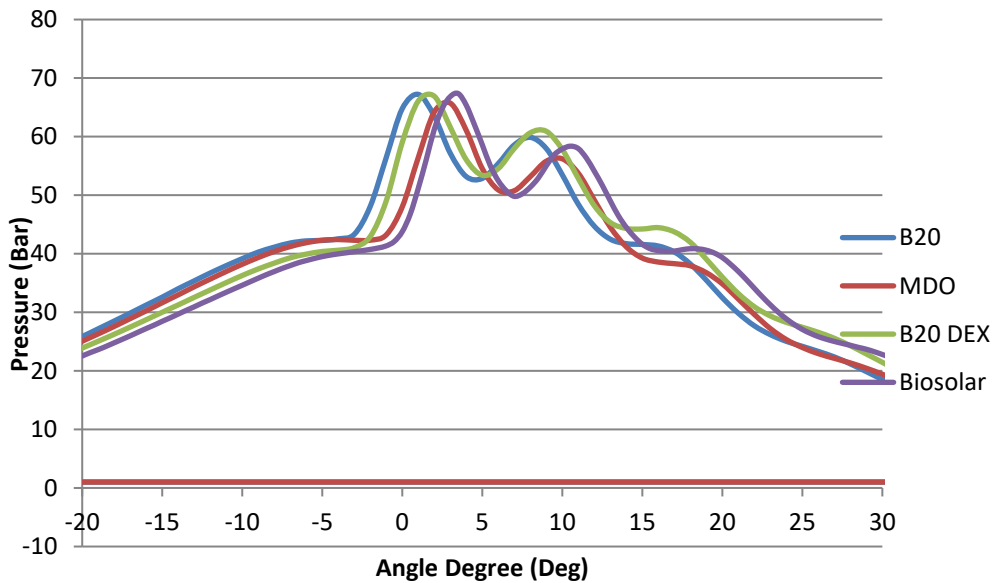
## **LAMPIRAN**

# Grafik *Maximum Pressure*

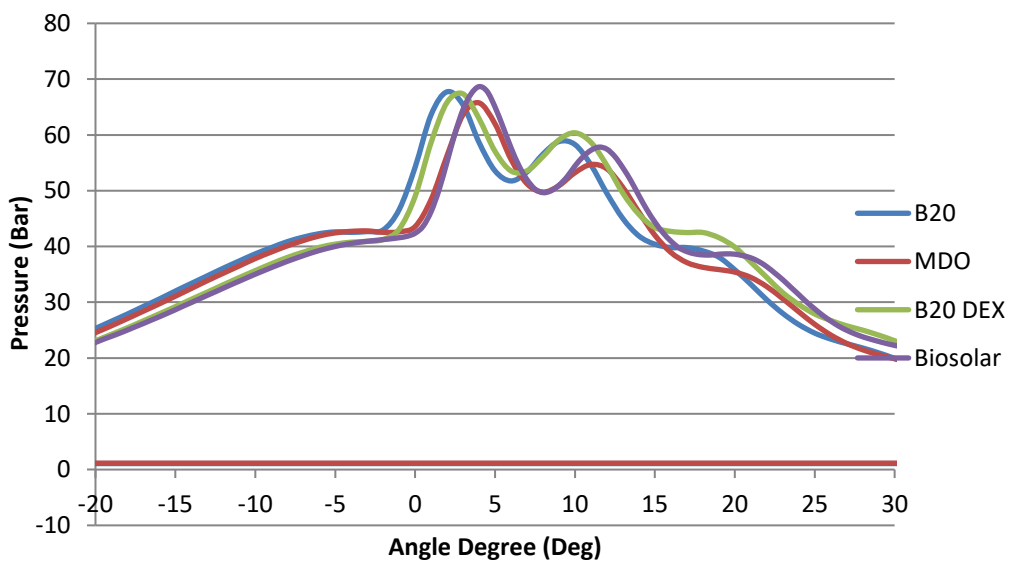
RPM 1800-2200 pembebanan 1000 Watt

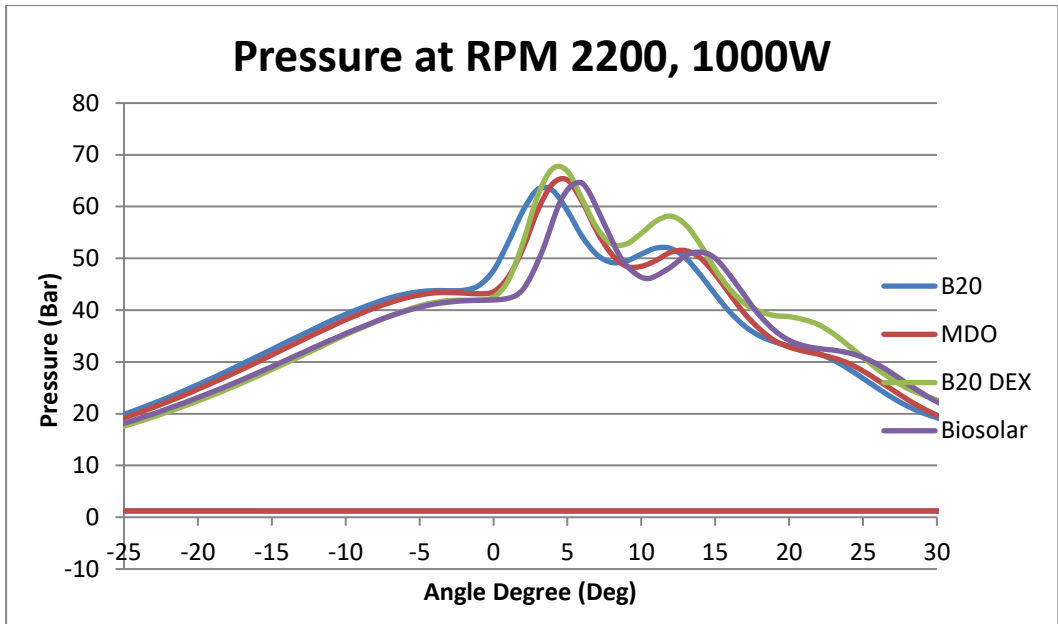


### Pressure at RPM 2000, 1000W

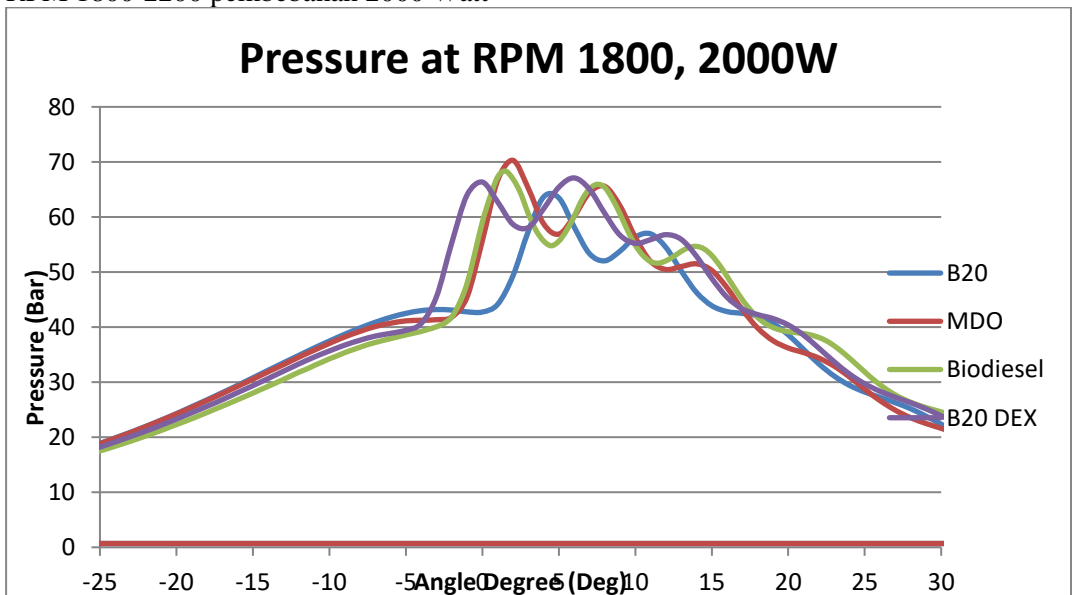


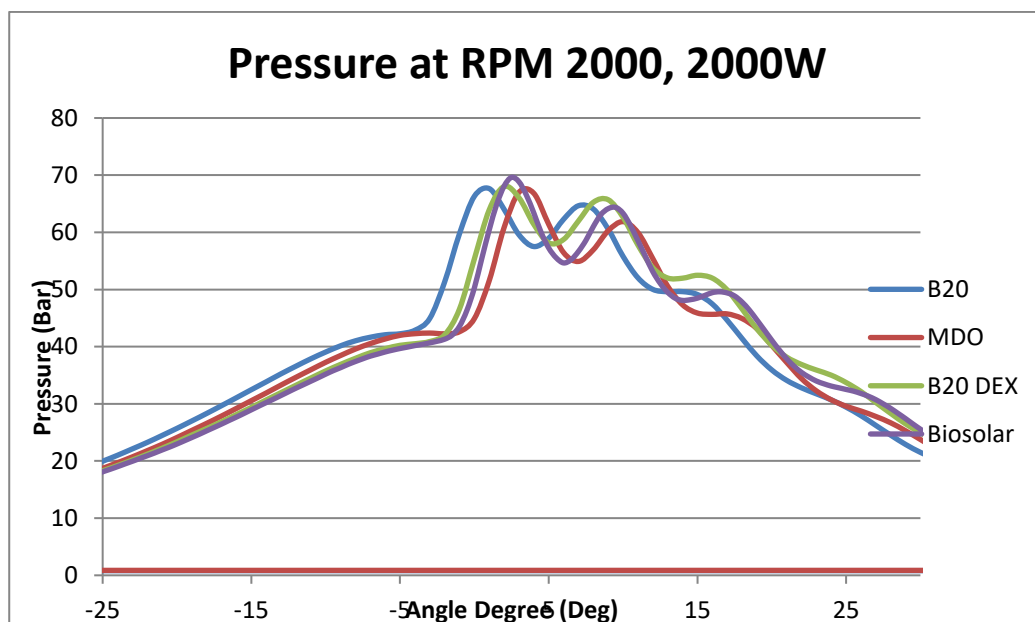
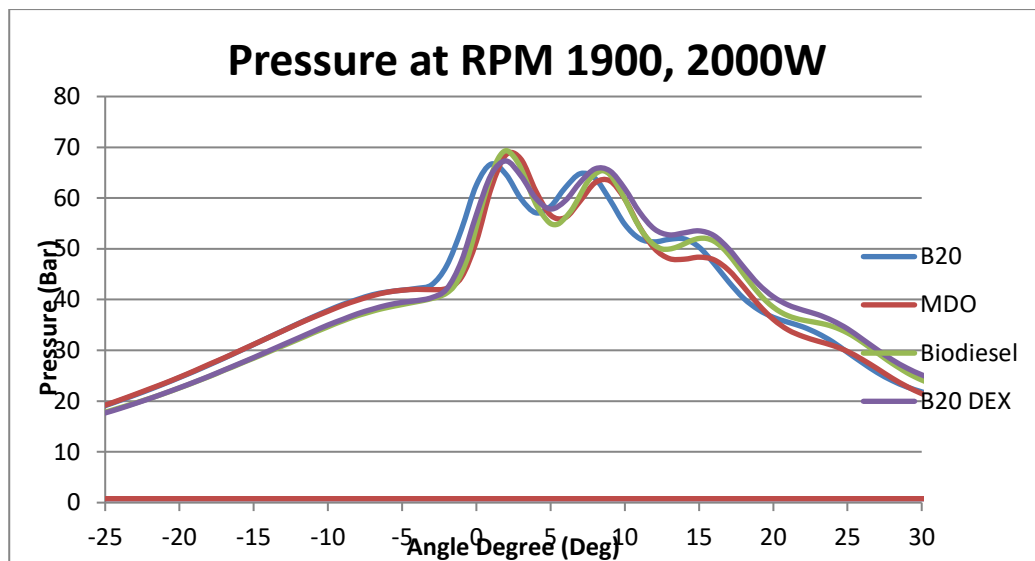
### Pressure at RPM 2100, 1000W

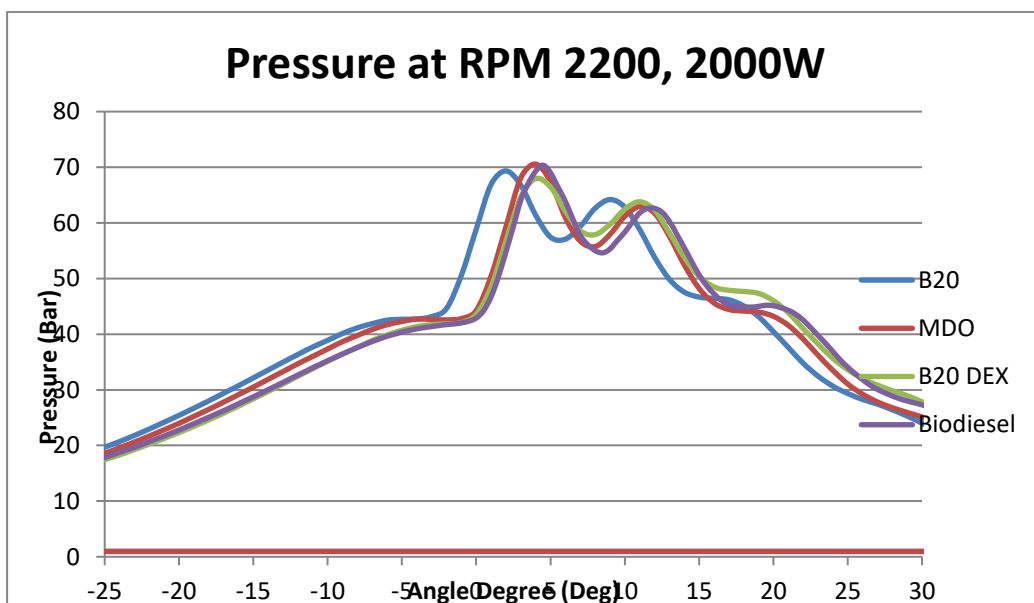
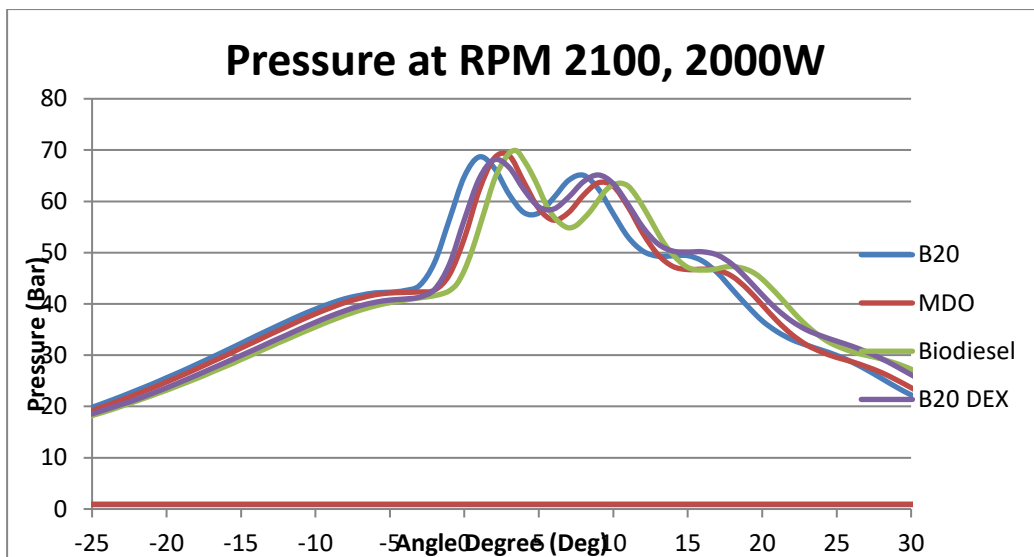




Grafik *Maximum Pressure*  
RPM 1800-2200 pembebanan 2000 Watt

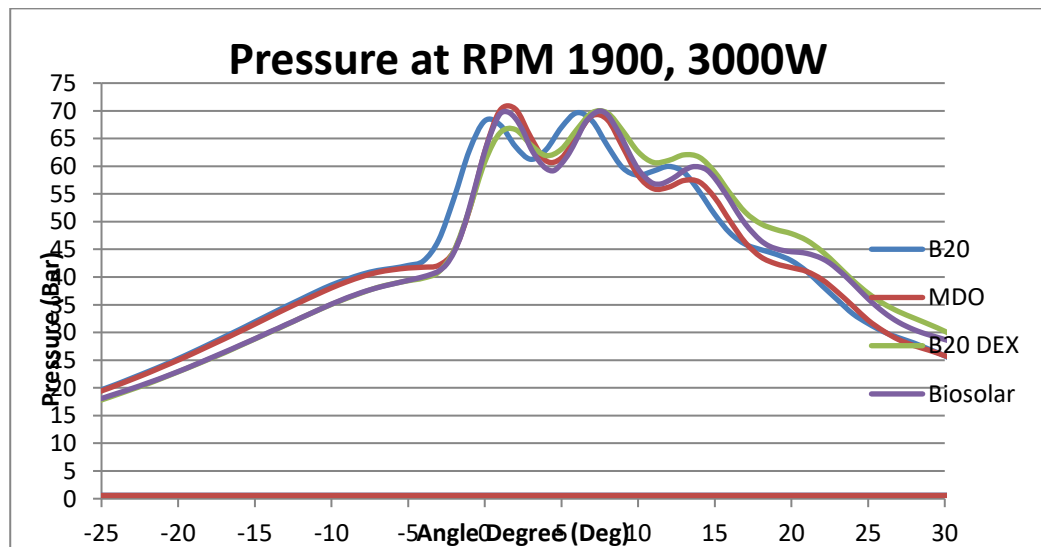
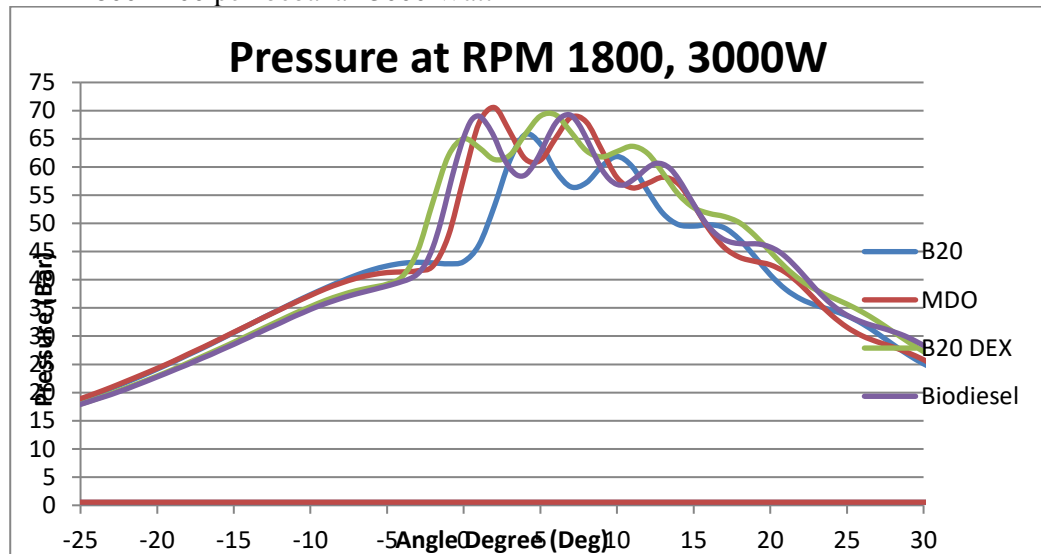


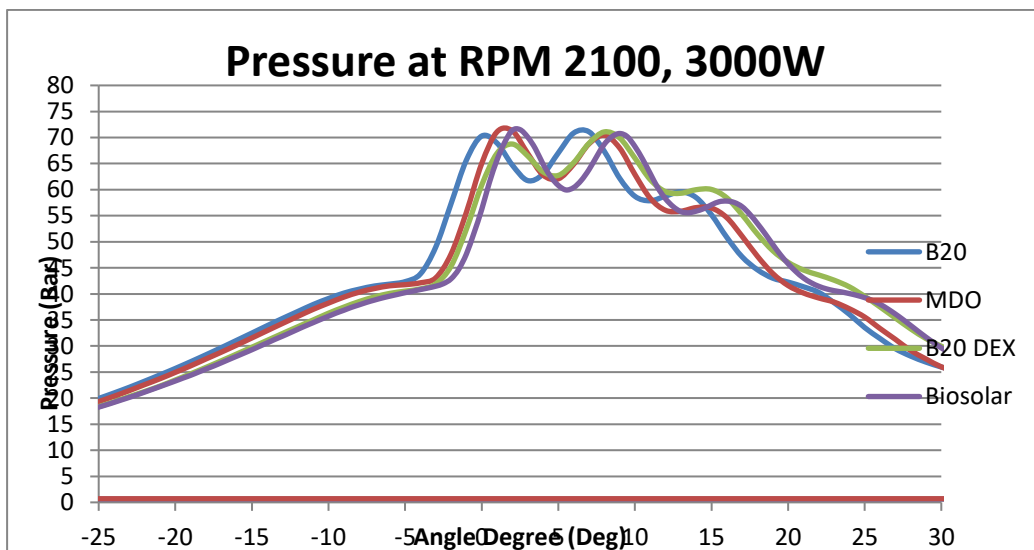
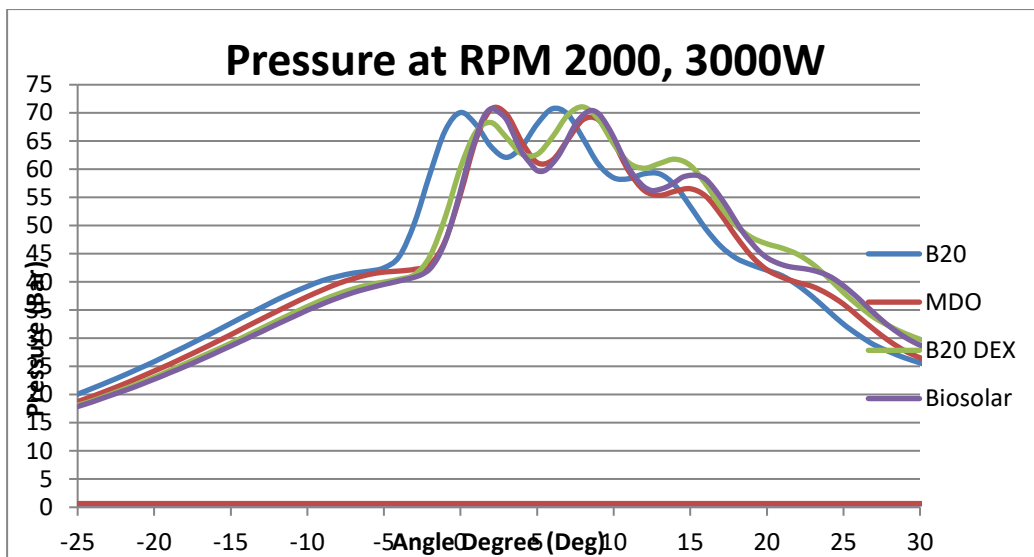




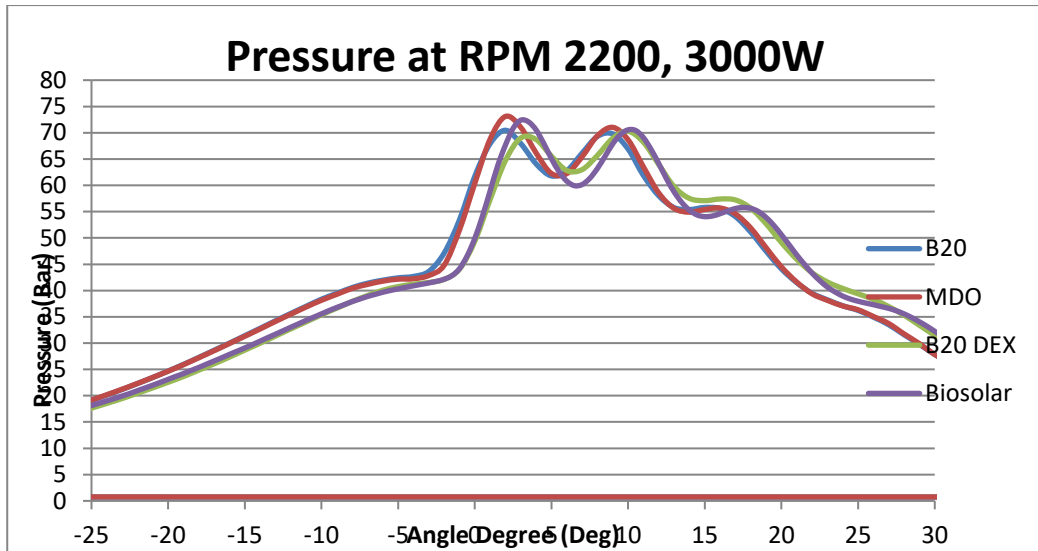
# Grafik *Maximum Pressure*

RPM 1800-2200 pembebanan 3000 Watt

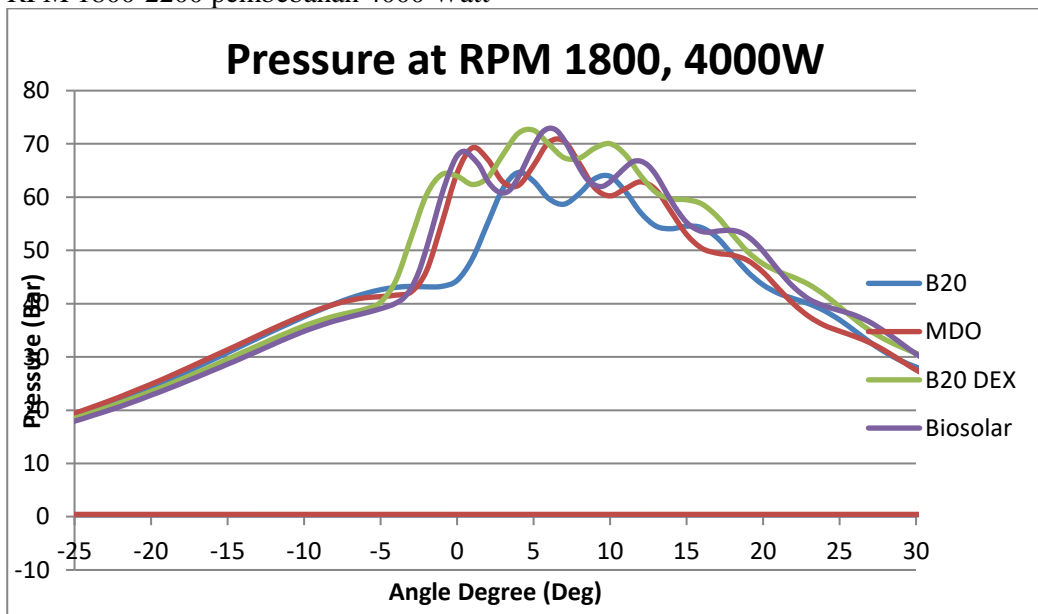


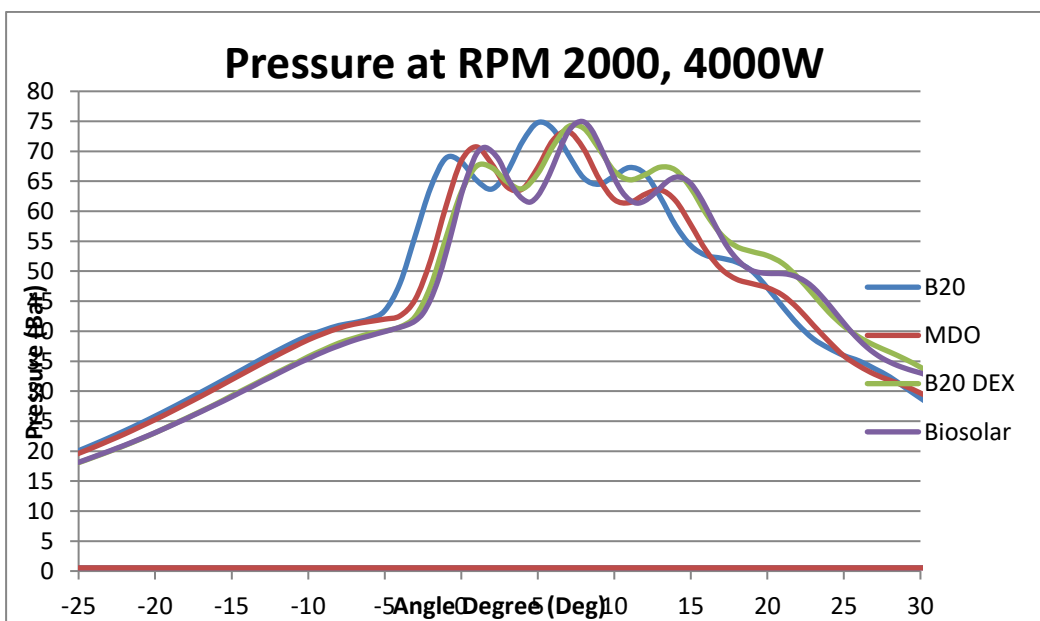
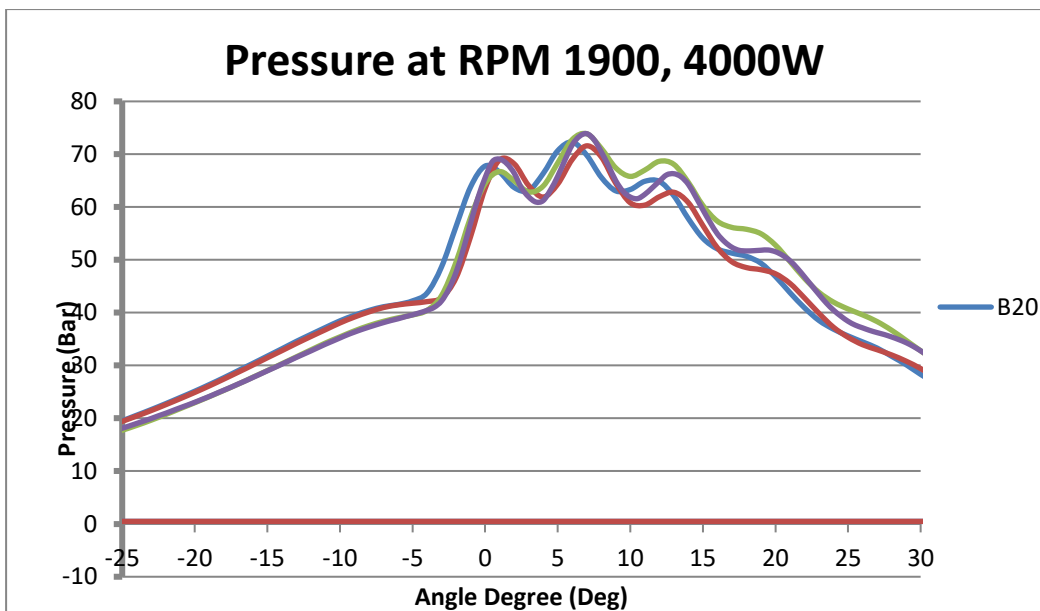


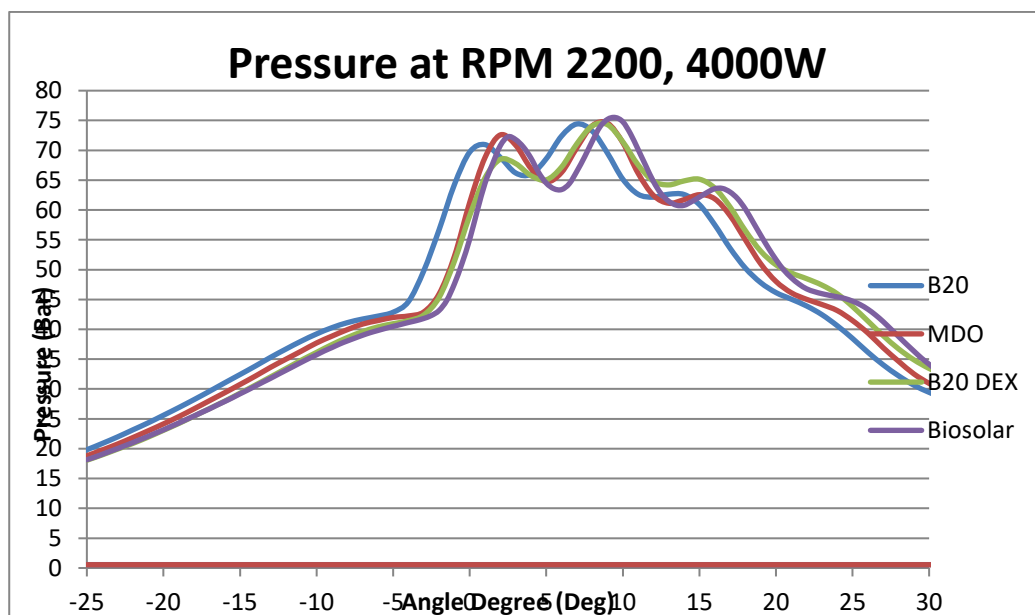
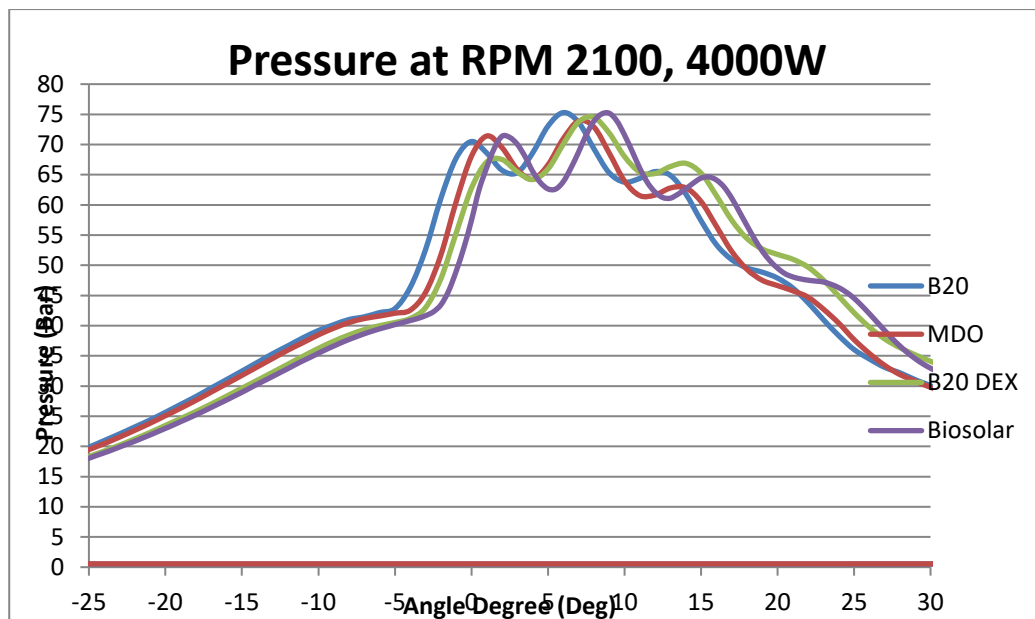




Grafik *Maximum Pressure*  
 RPM 1800-2200 pembebanan 4000 Watt

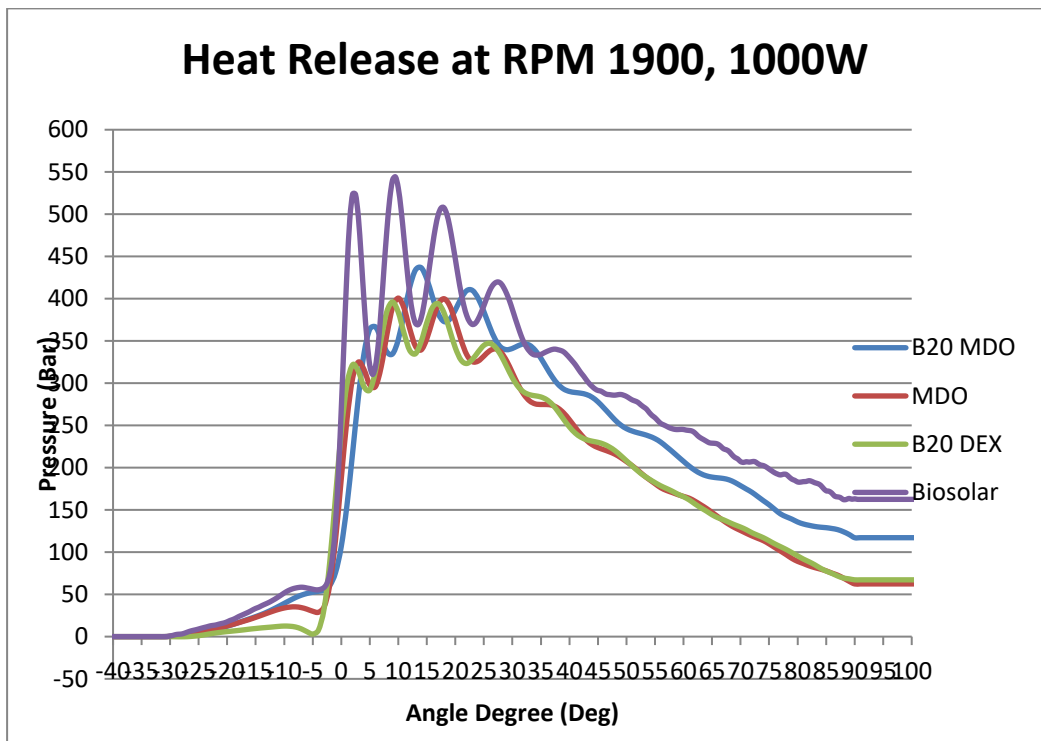
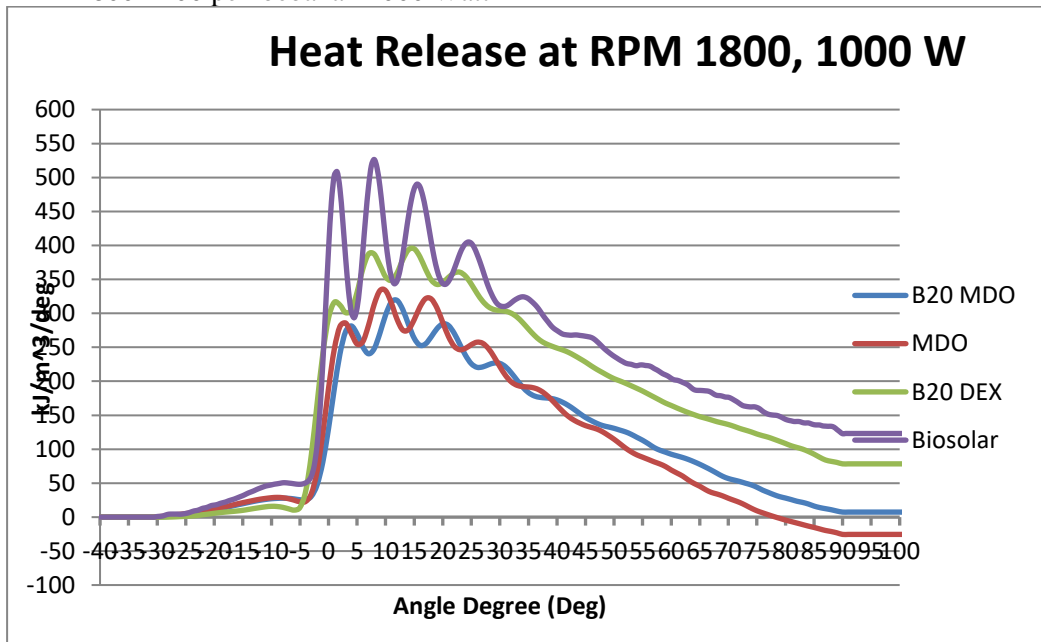




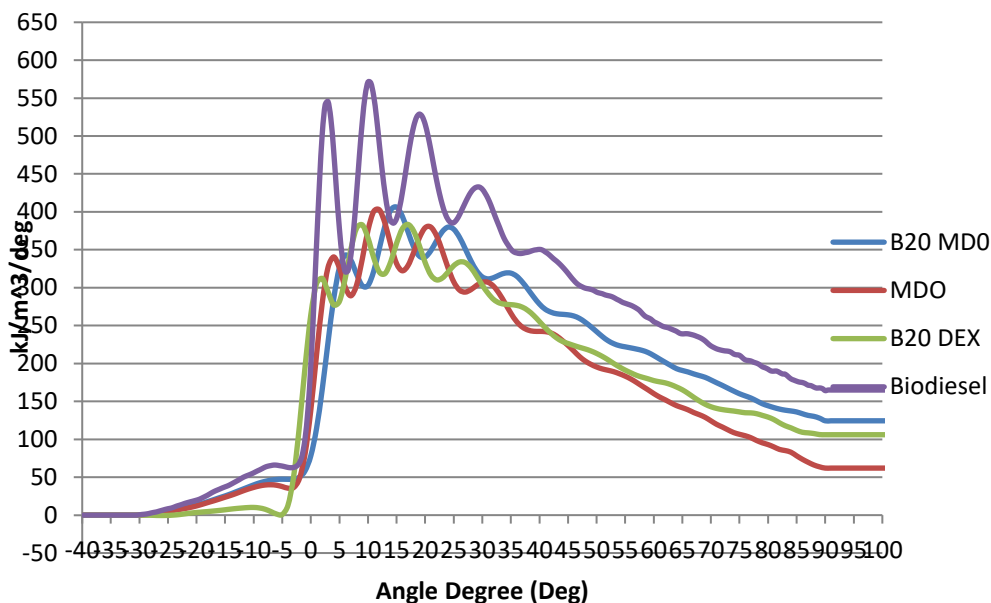


# Grafik *Heat Release*

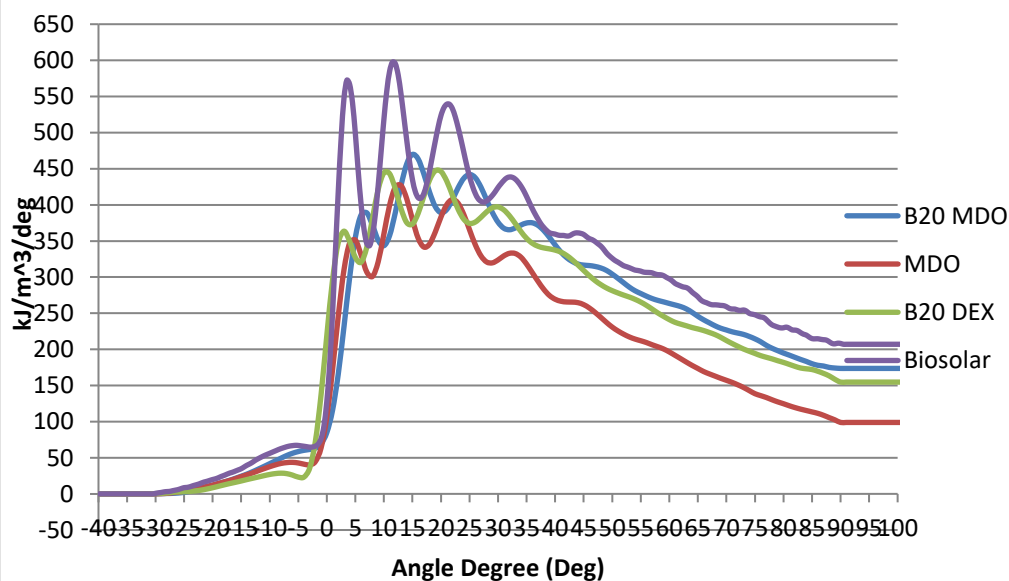
RPM 1800-2200 pembebanan 1000 Watt

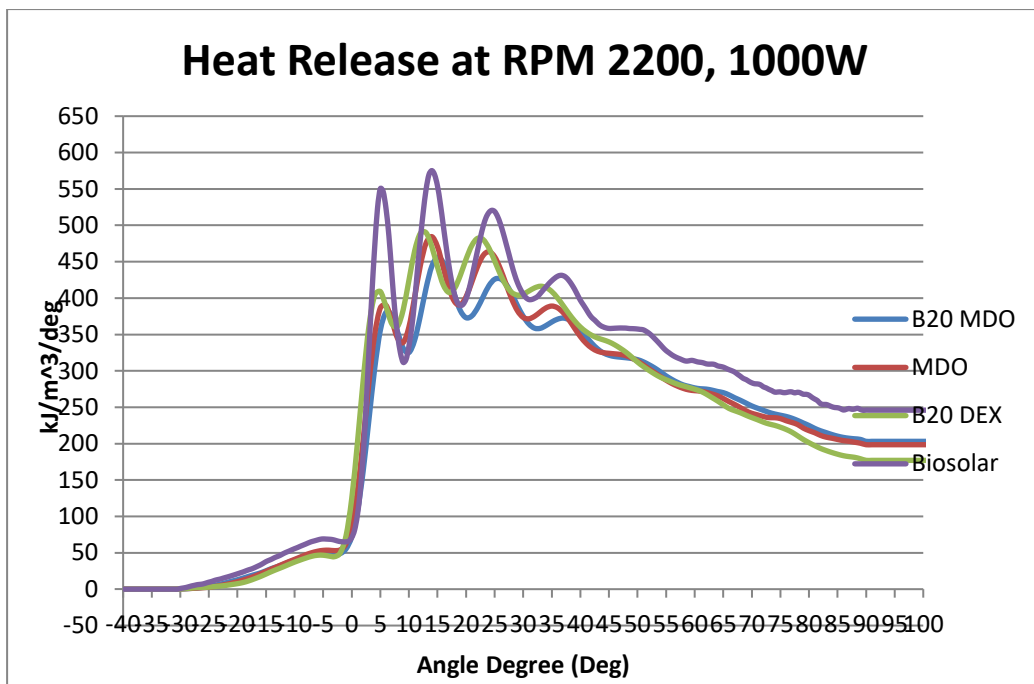


## Heat Release at RPM 2000, 1000W

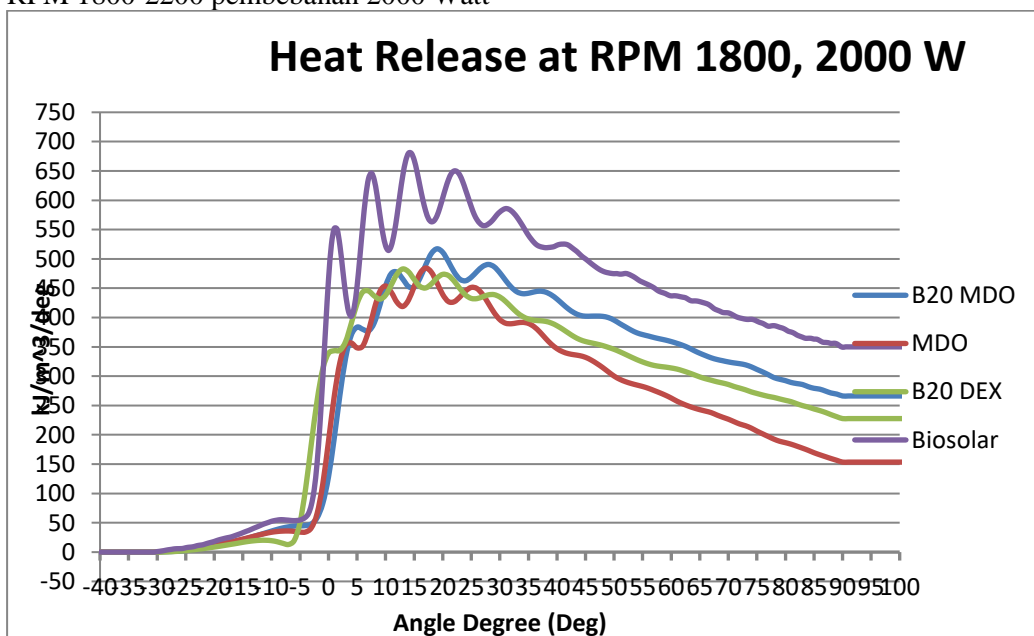


## Heat Release at RPM 2100, 1000W

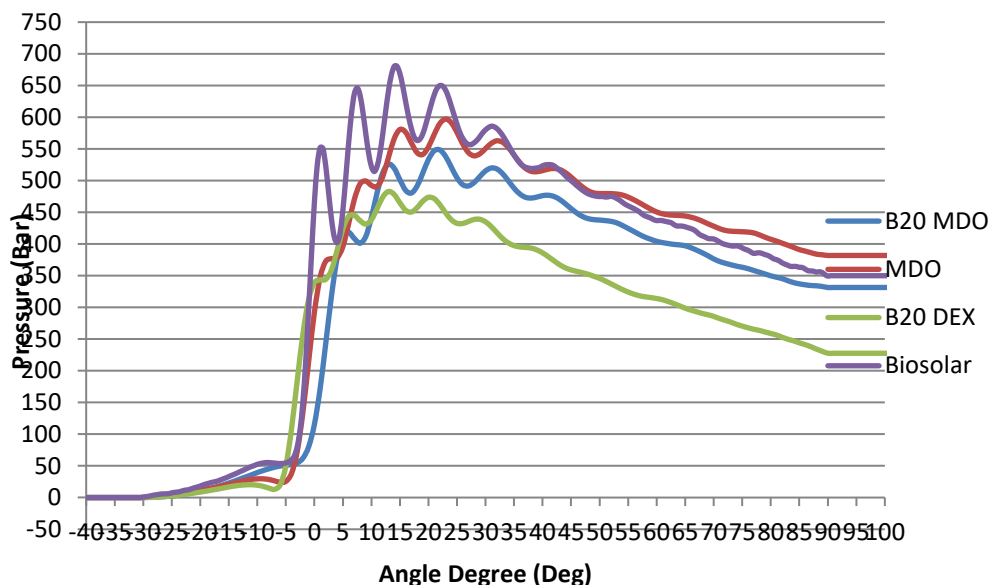




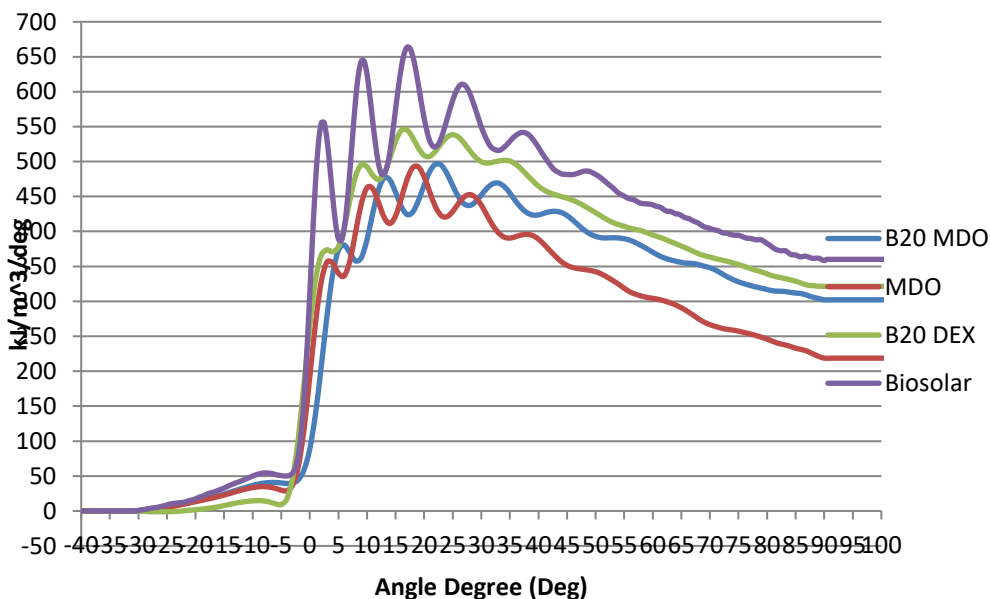
RPM 1800-2200 pembebanan 2000 Watt



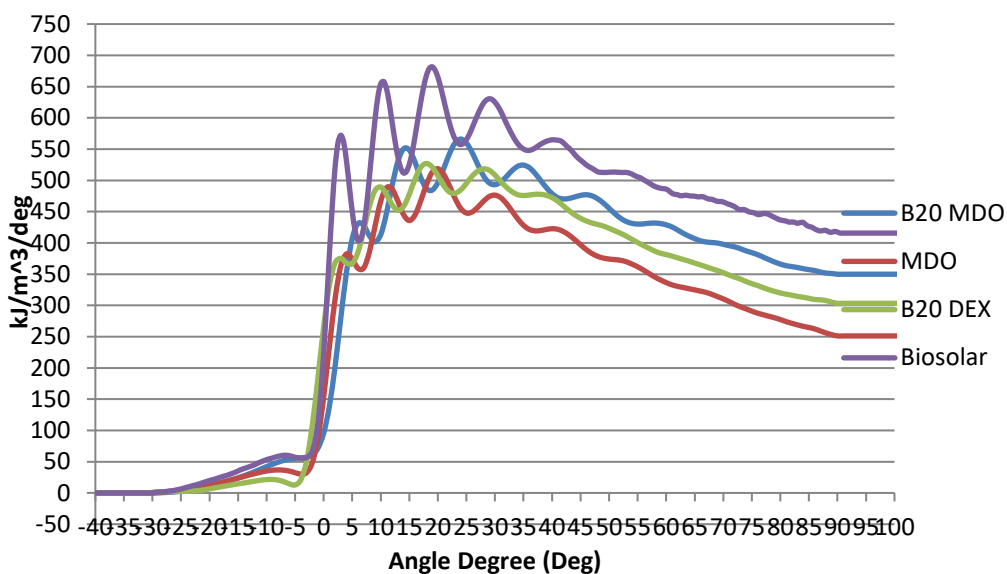
## Heat Release at RPM 1900, 2000W



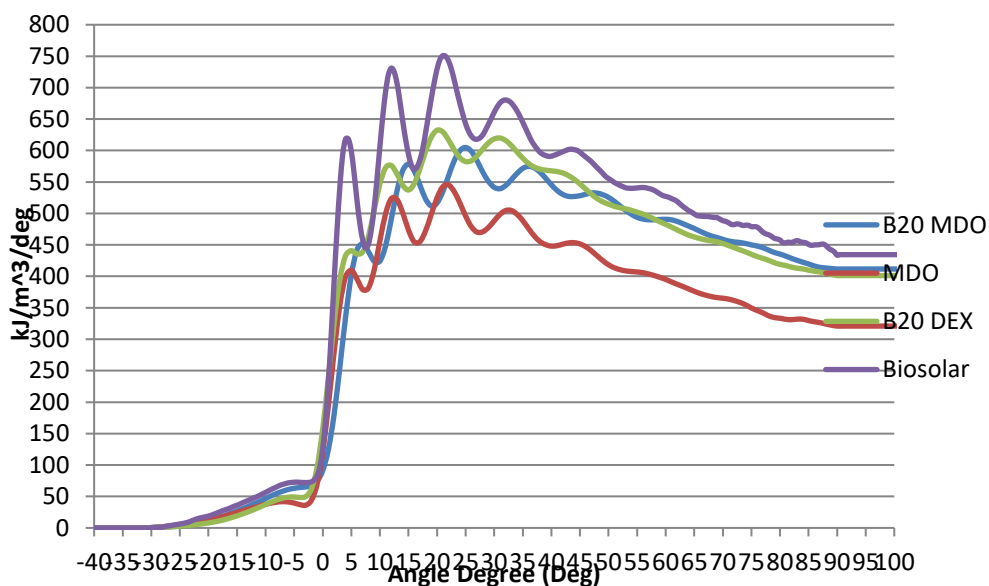
## Heat Release at RPM 2000, 2000W



## Heat Release at RPM 2100, 2000W

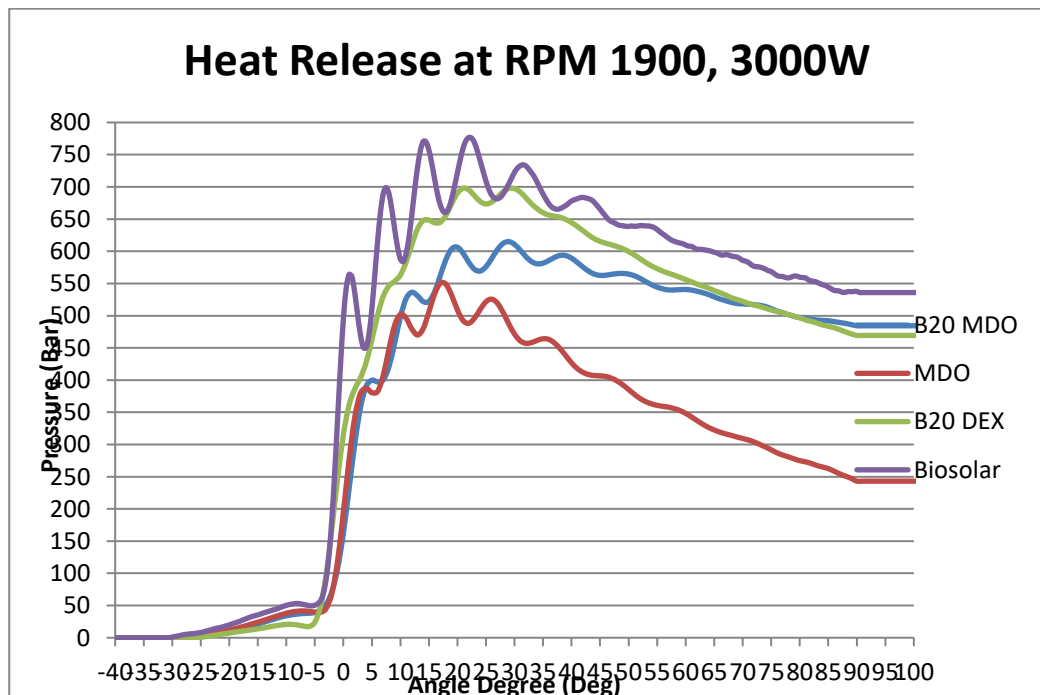
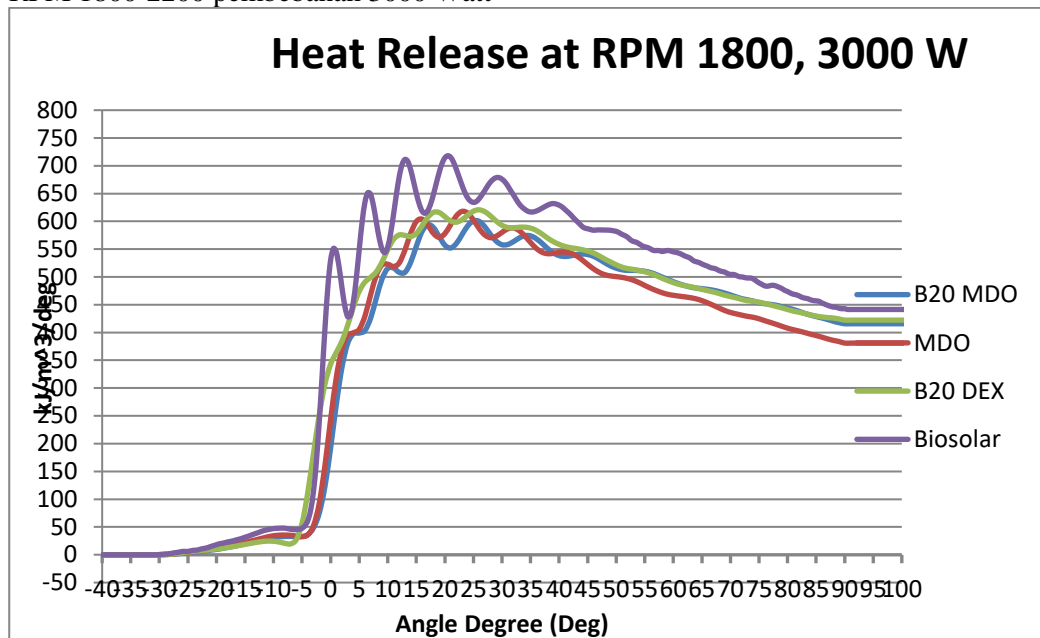


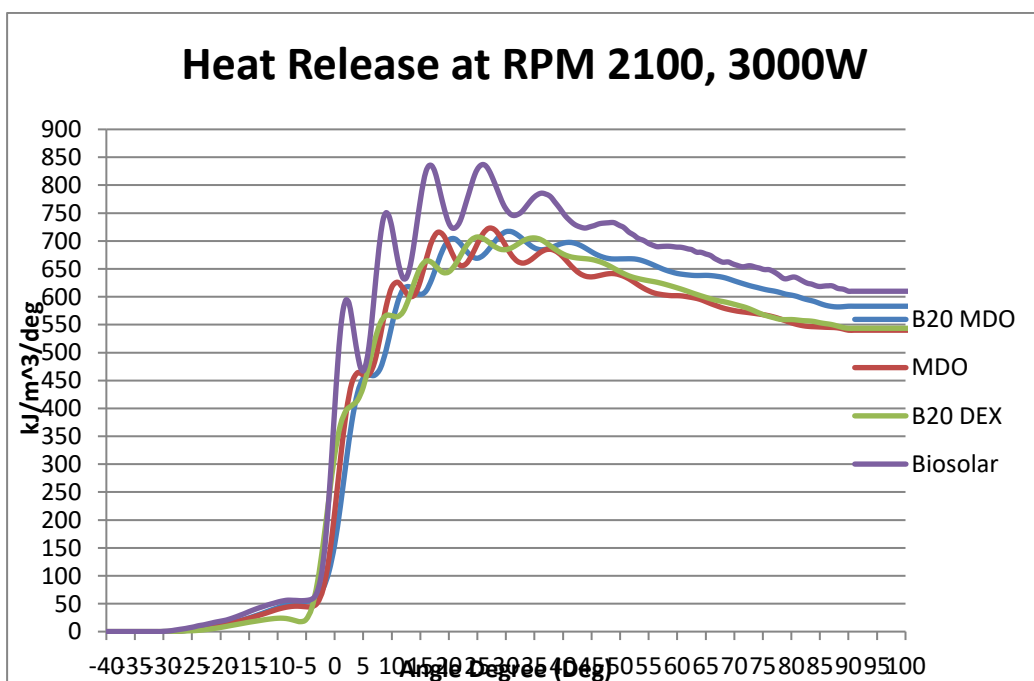
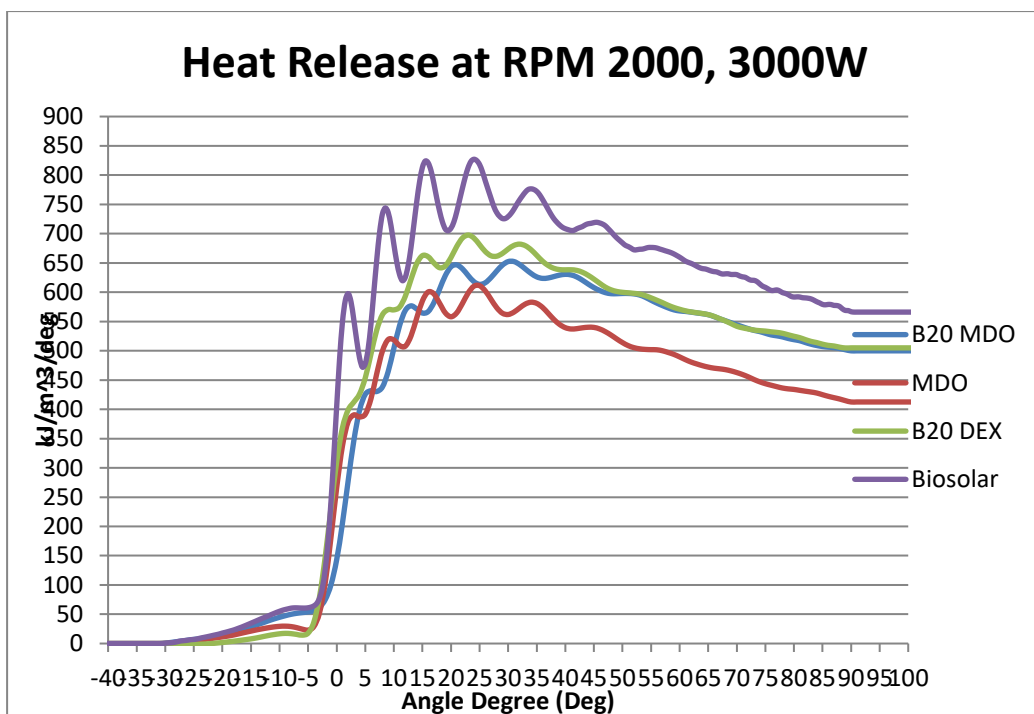
## Heat Release at RPM 2200, 2000W

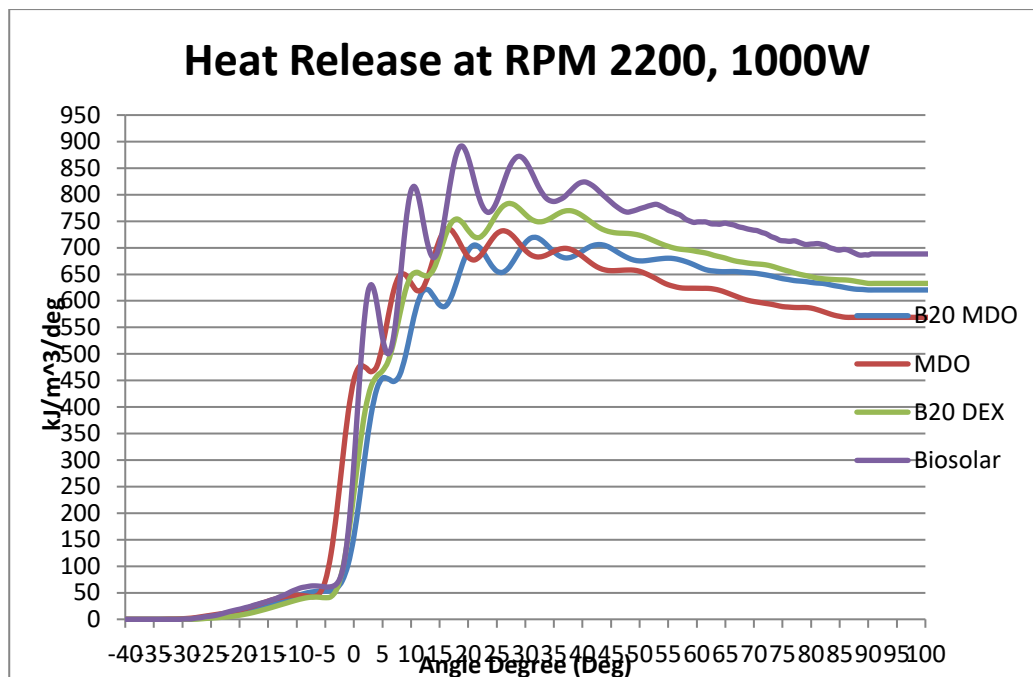




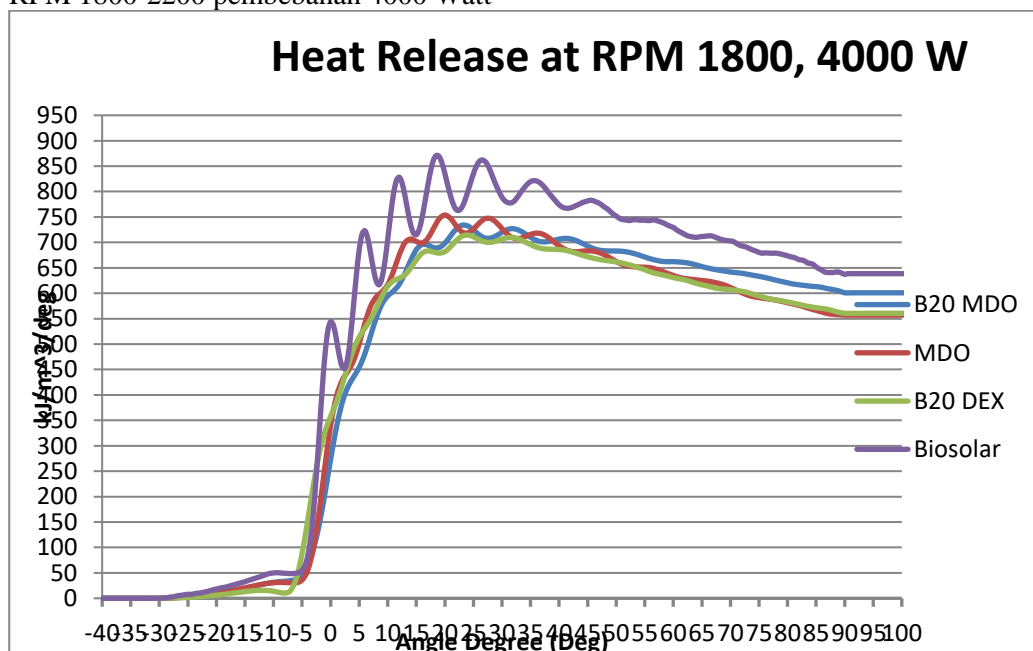
RPM 1800-2200 pembebanan 3000 Watt



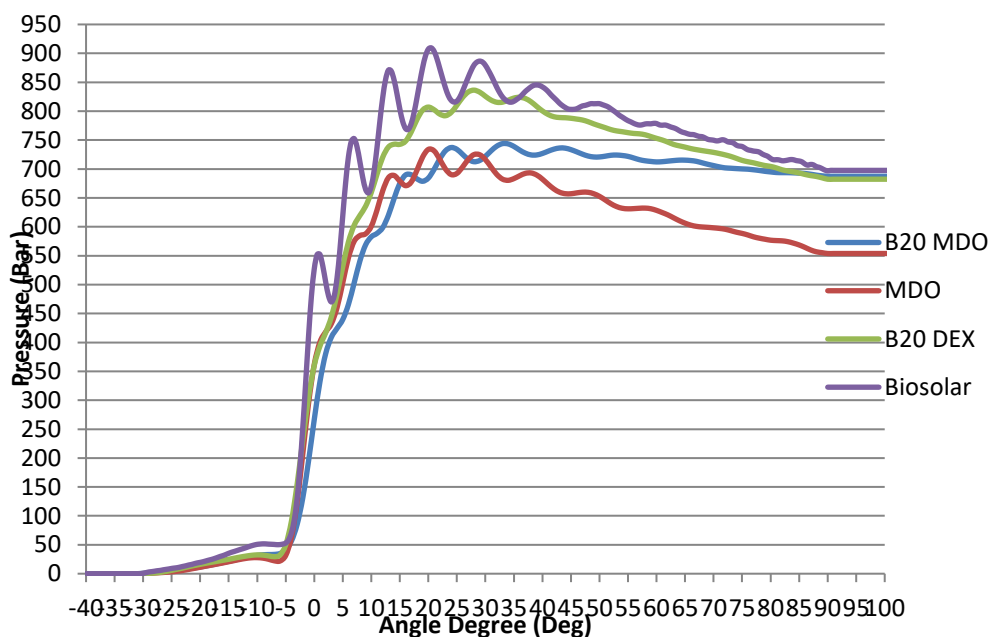




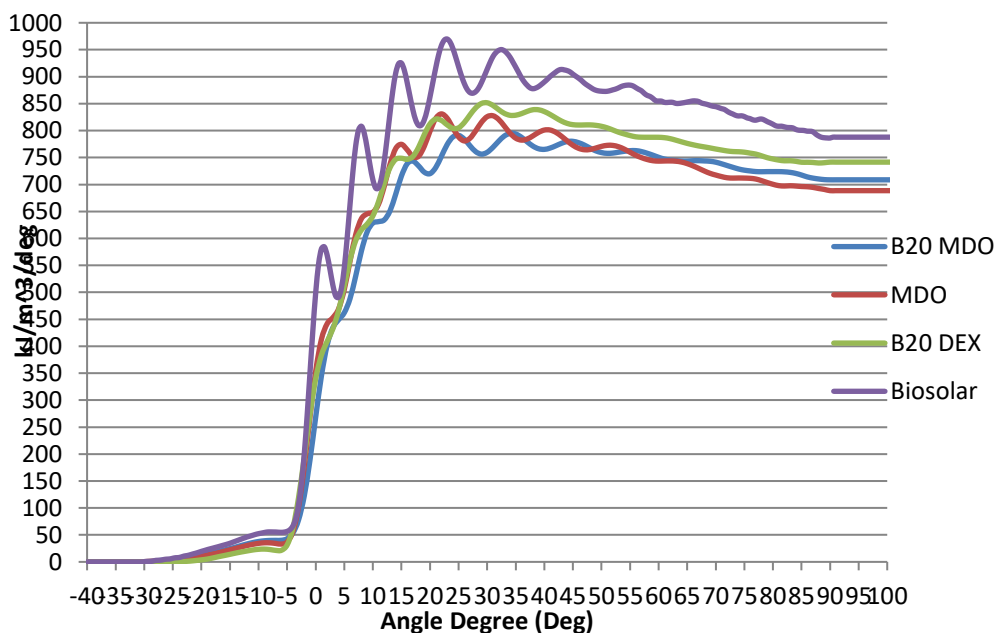
RPM 1800-2200 pembebanan 4000 Watt



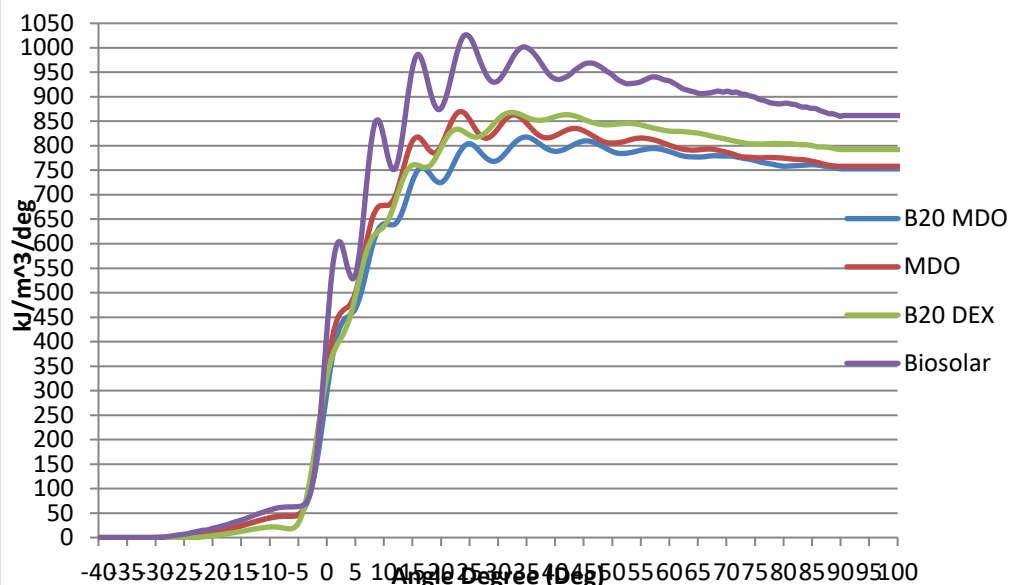
## Heat Release at RPM 1900, 4000W



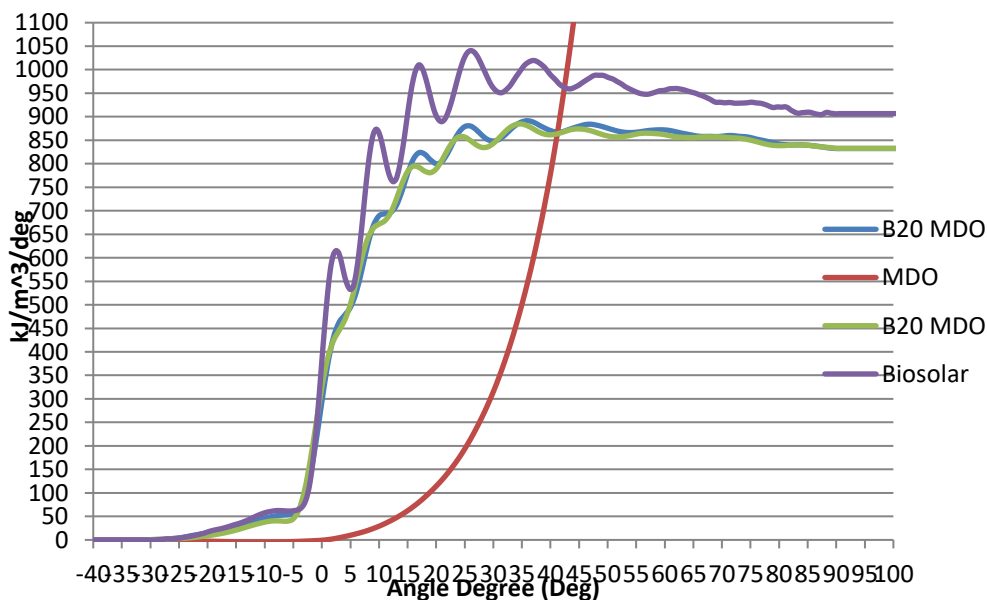
## Heat Release at RPM 2000, 4000W



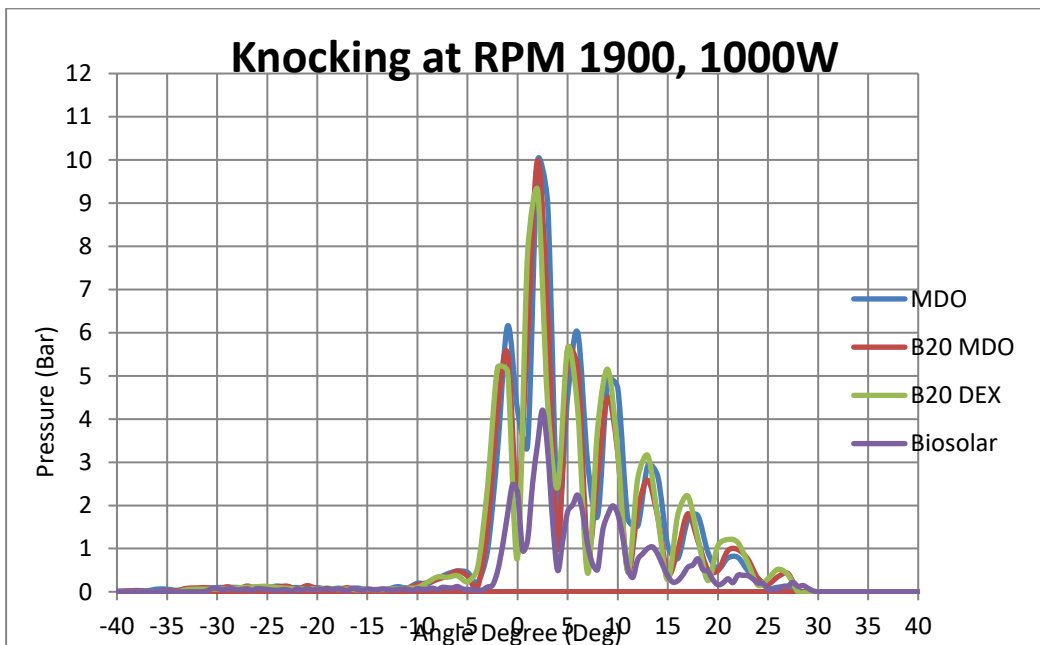
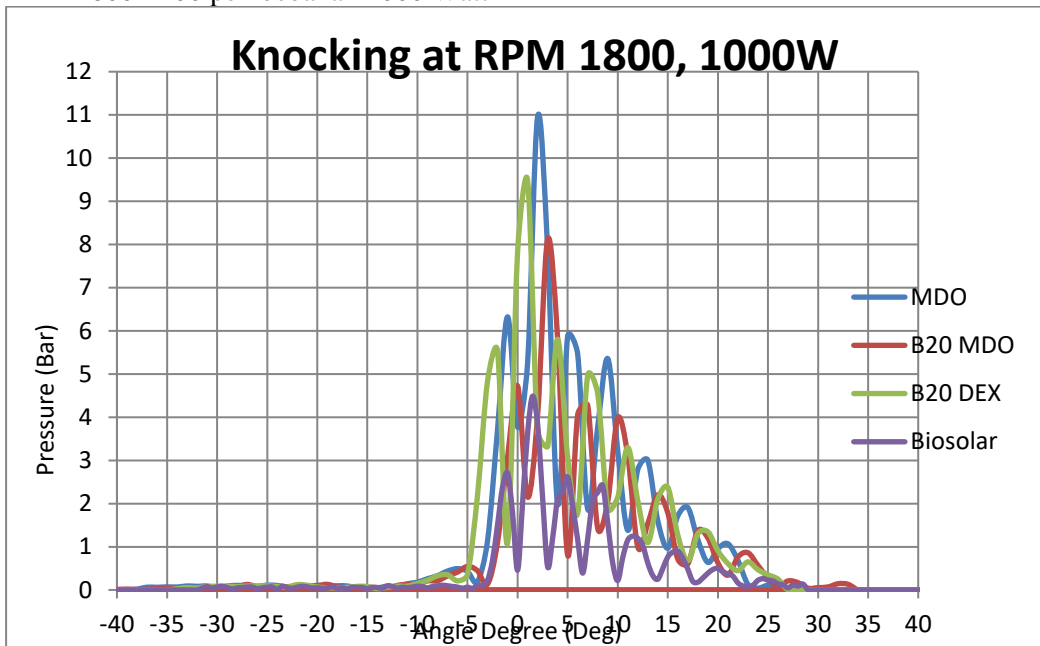
## Heat Release at RPM 2100, 4000W

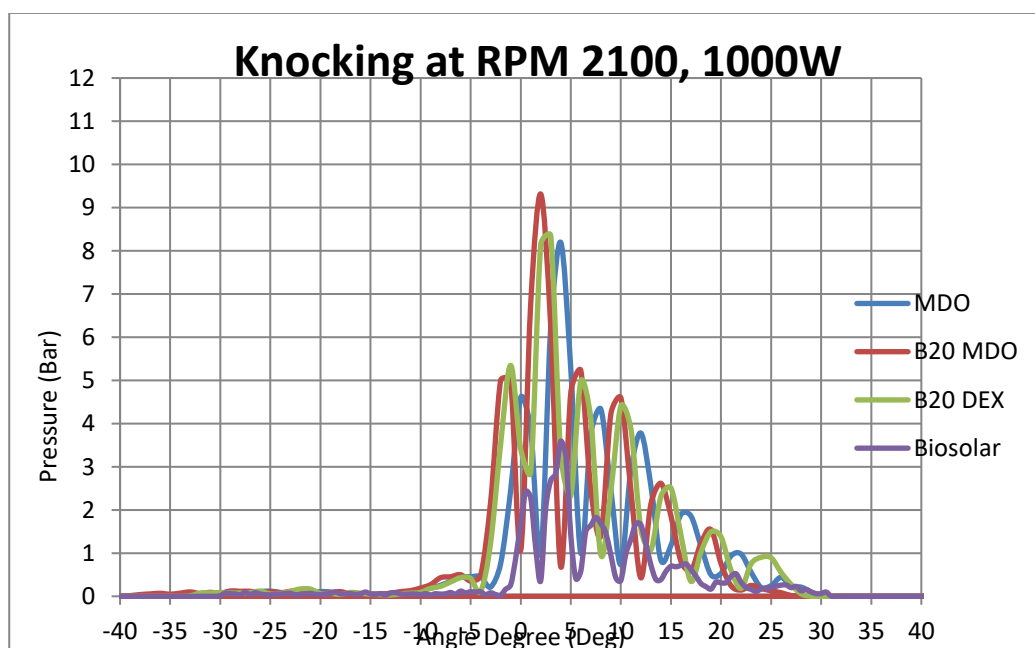
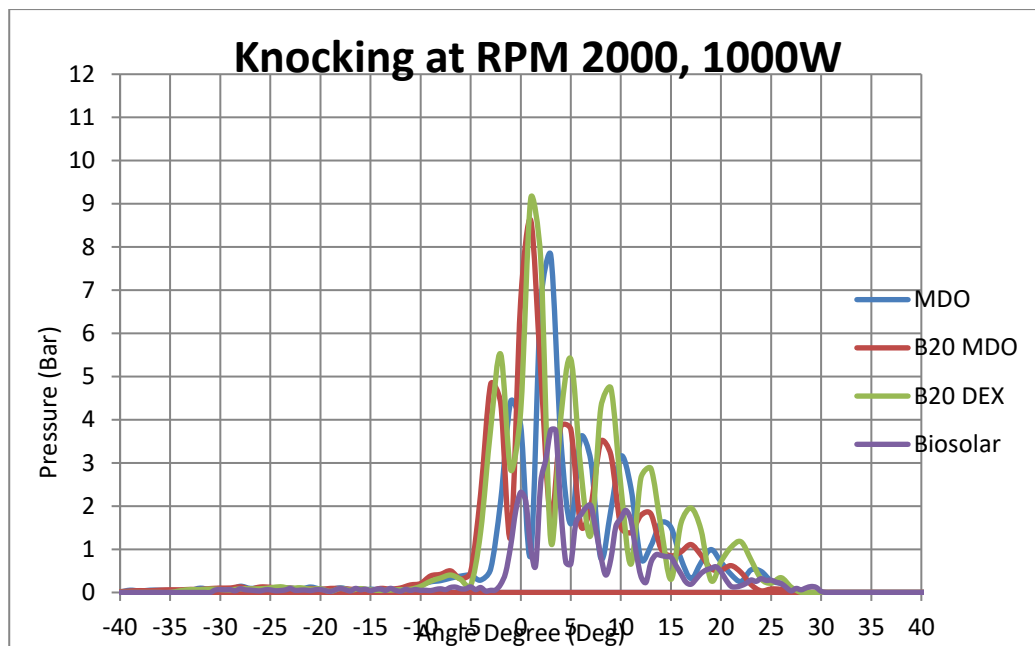


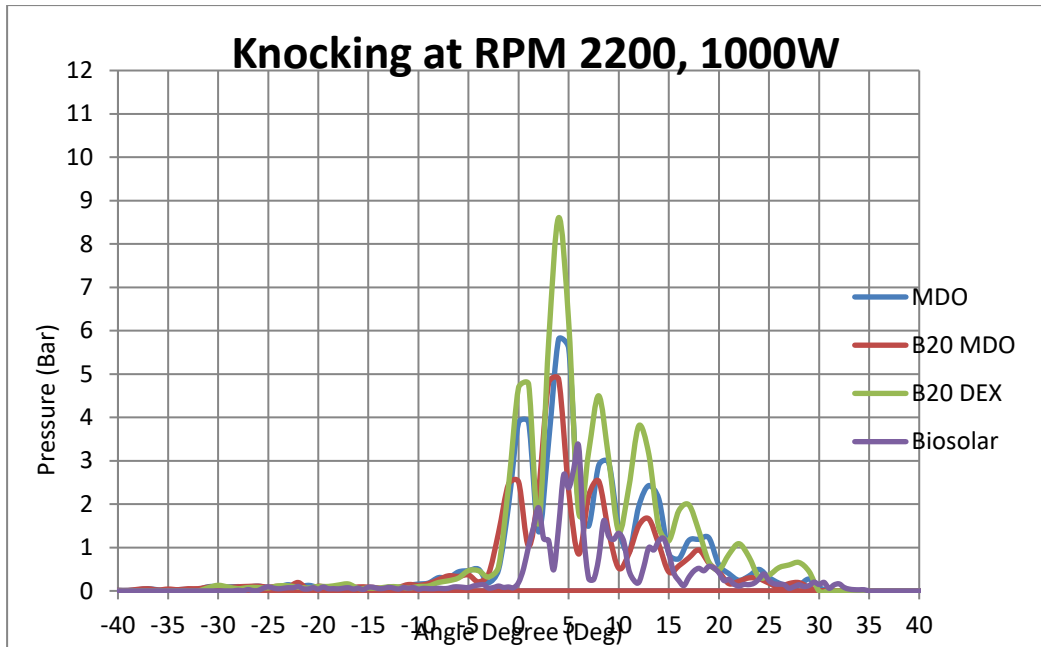
## Heat Release at RPM 2200, 4000W



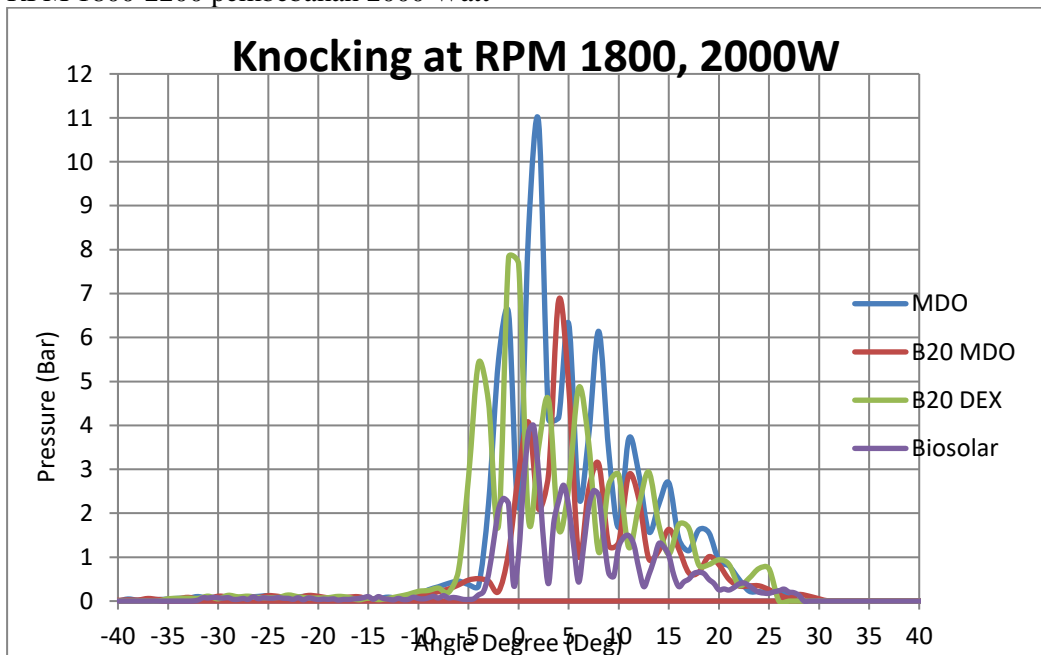
Grafik *Knocking Detection*  
 RPM 1800-2200 pembebanan 1000 Watt



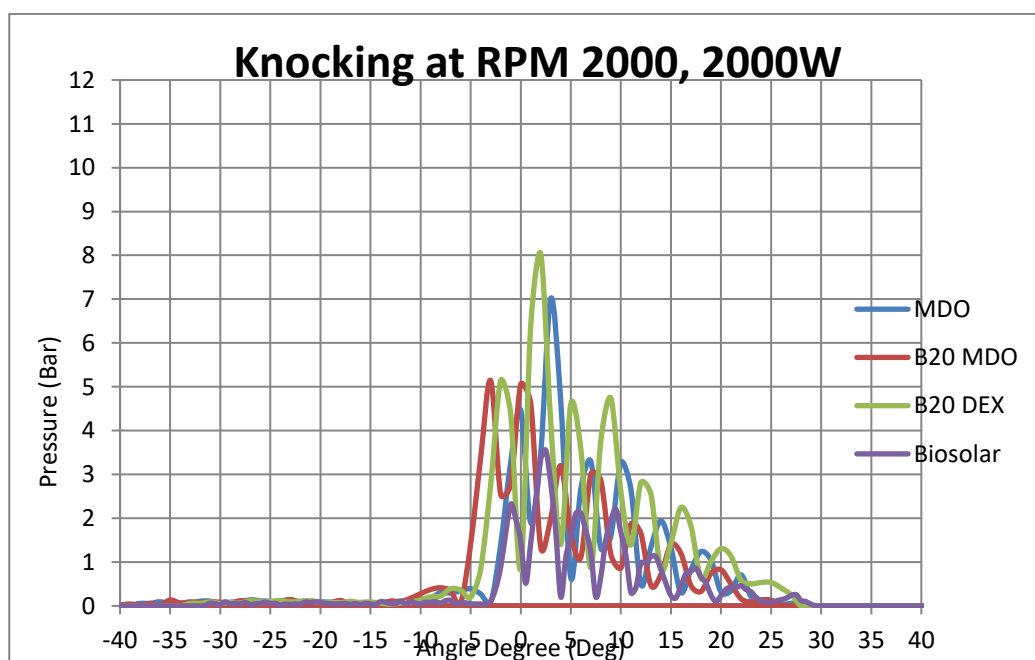
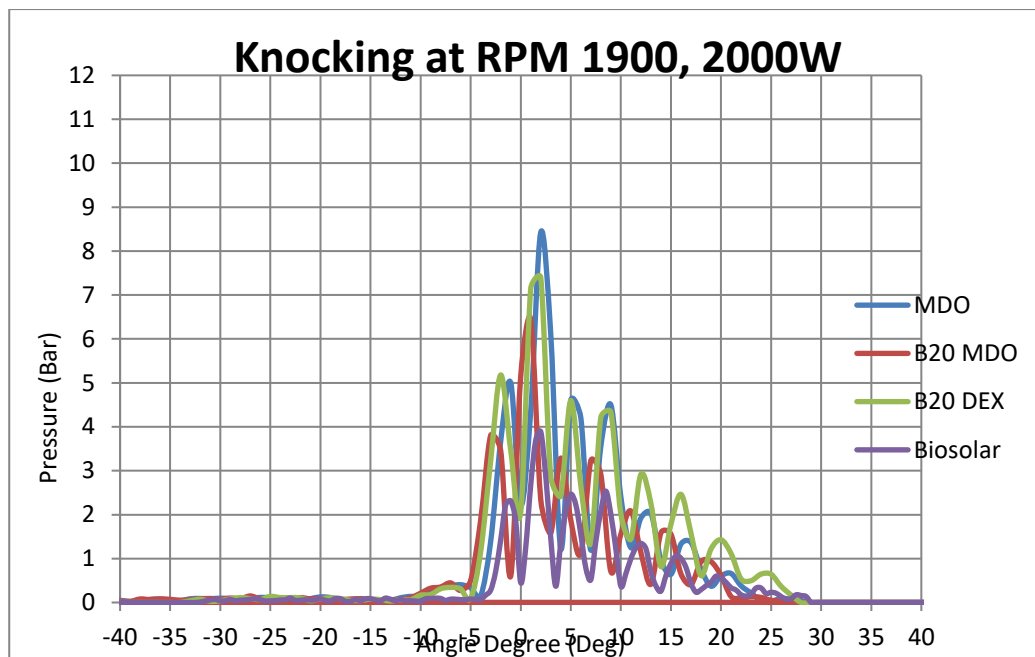


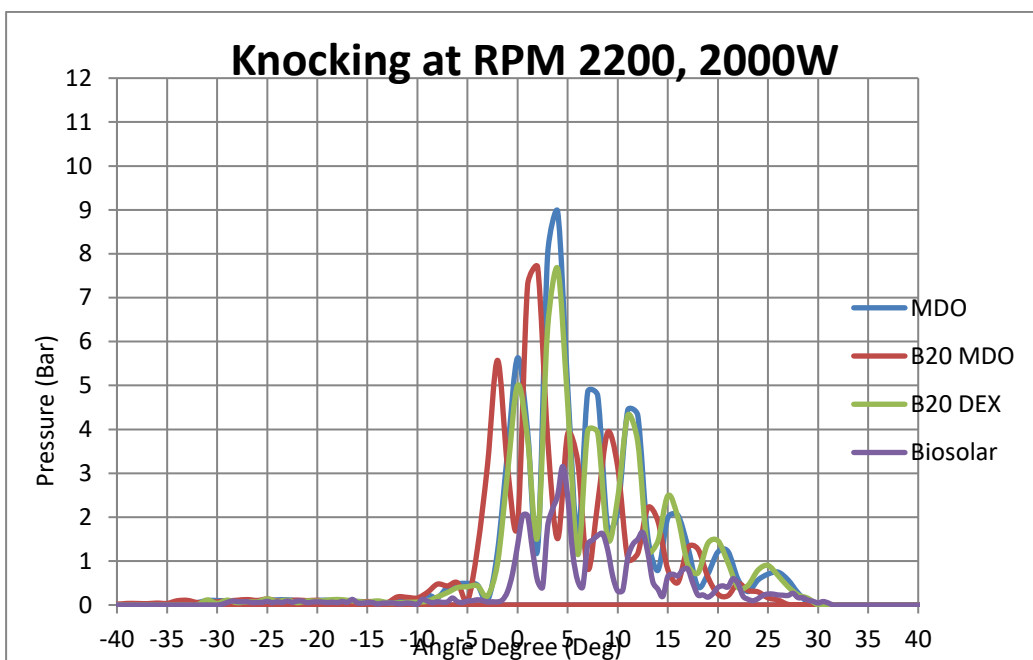
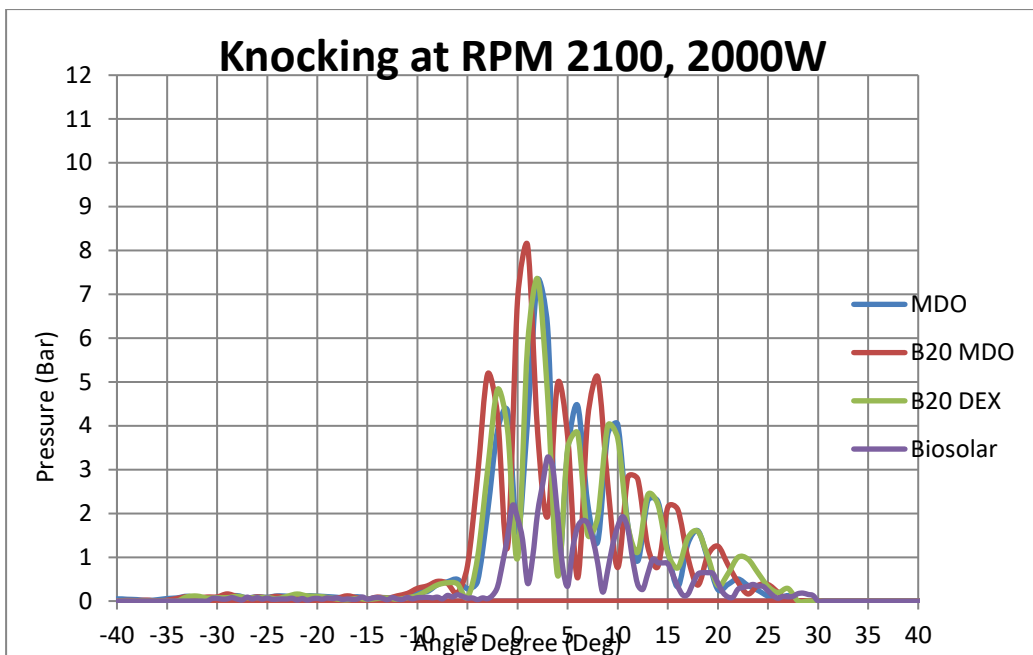


RPM 1800-2200 pembebanan 2000 Watt

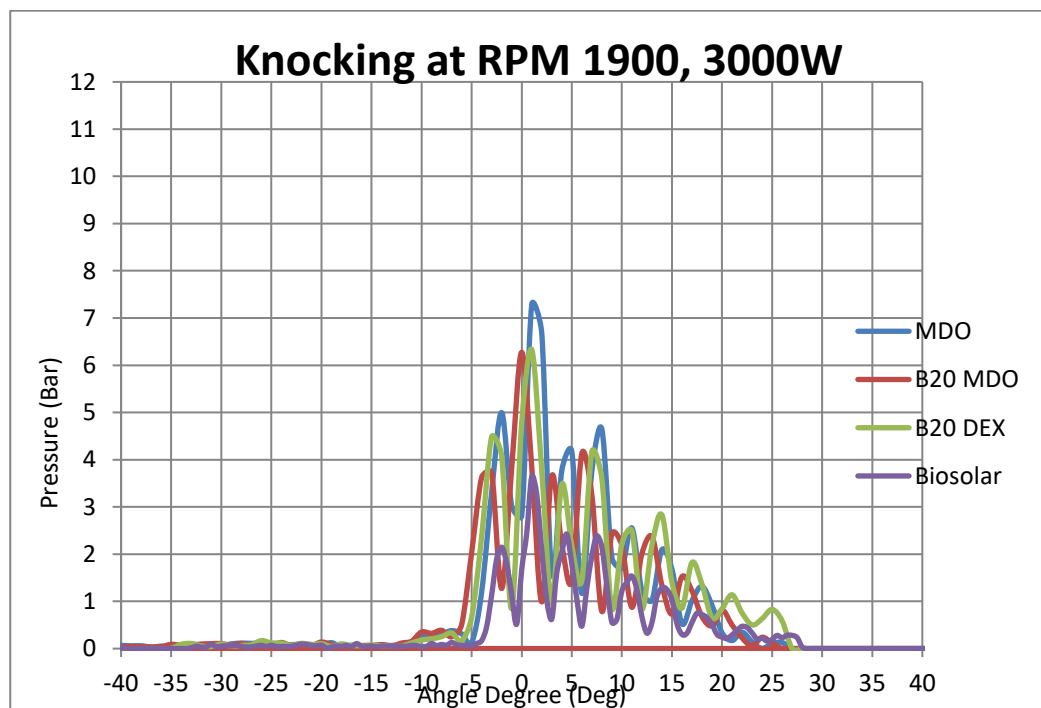
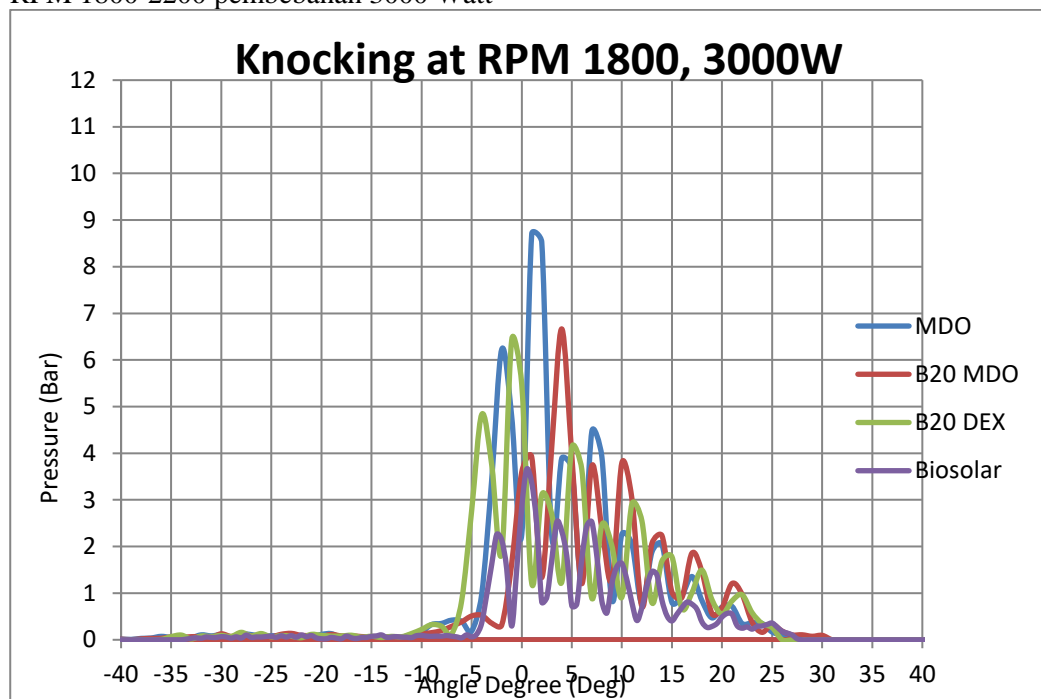


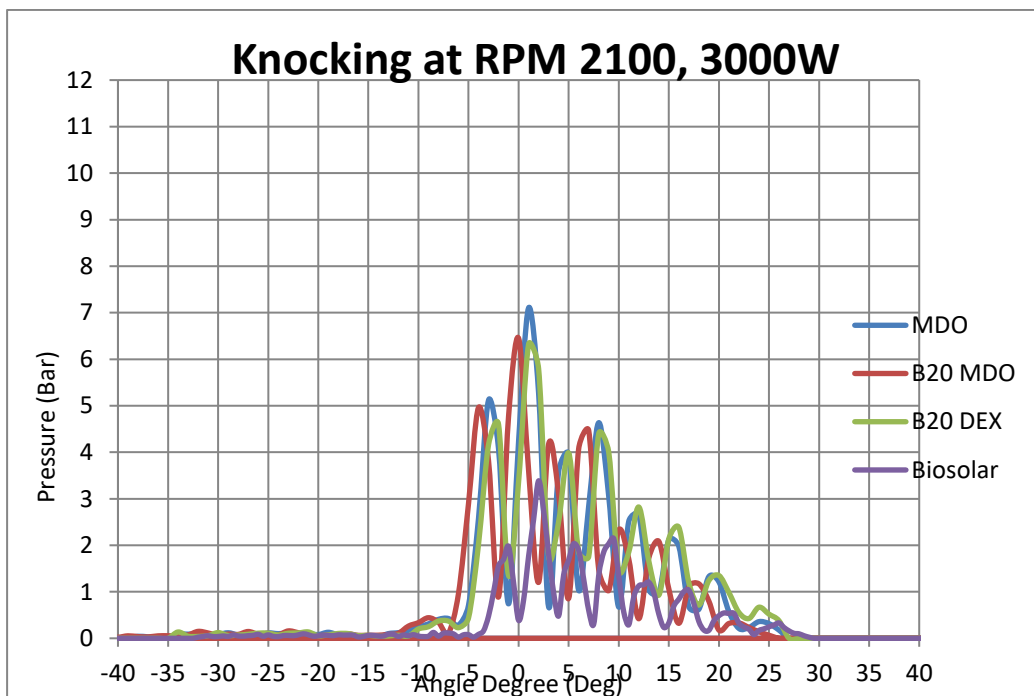
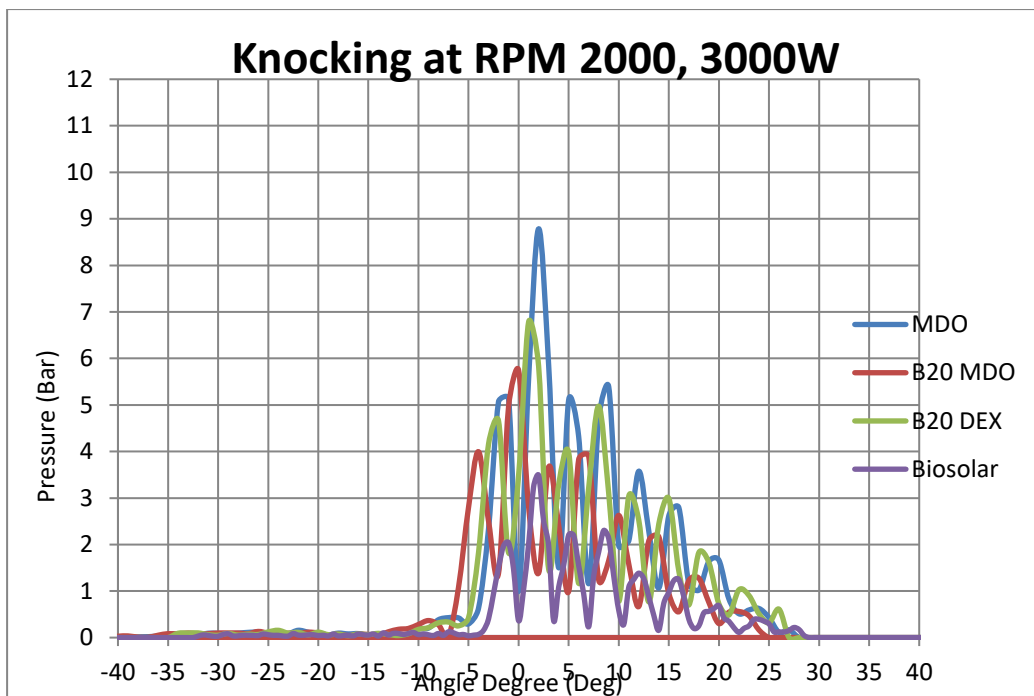


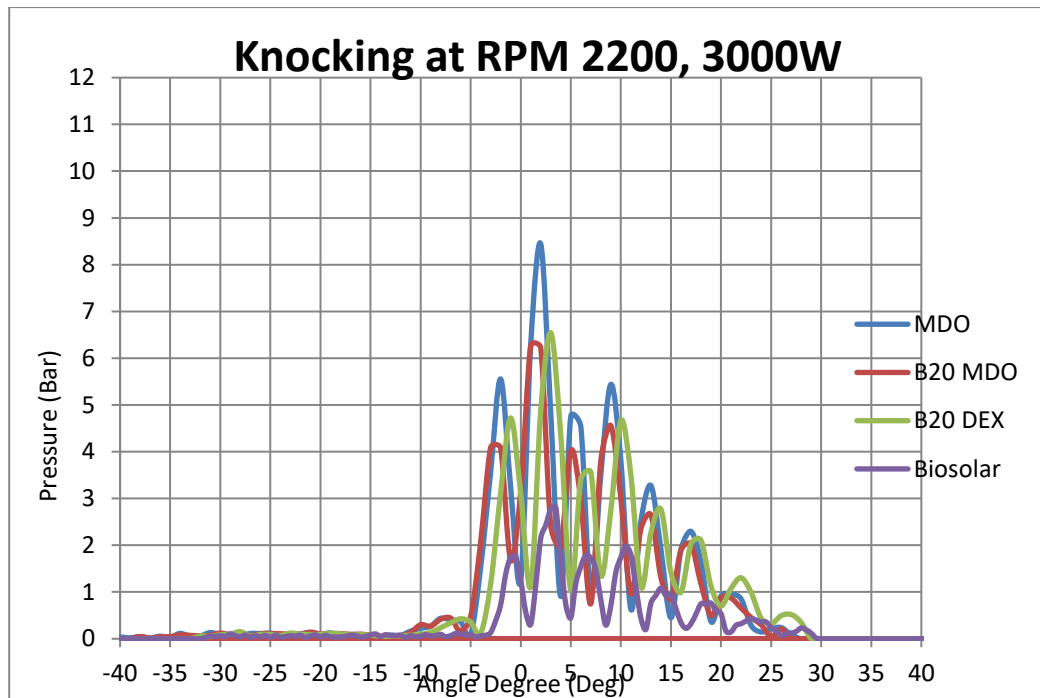




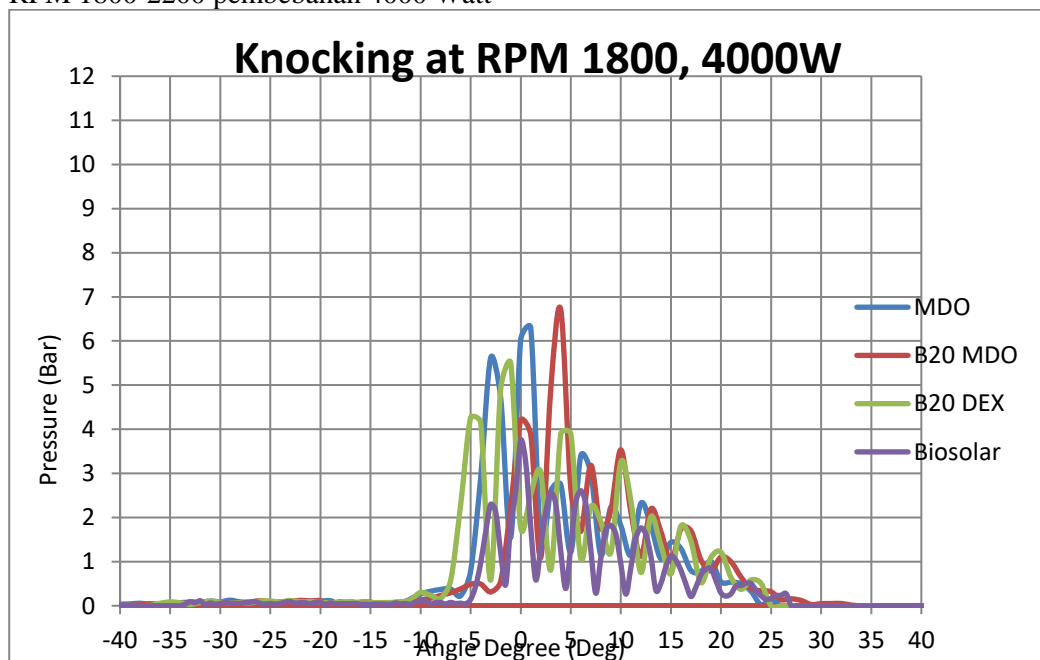
RPM 1800-2200 pembebanan 3000 Watt

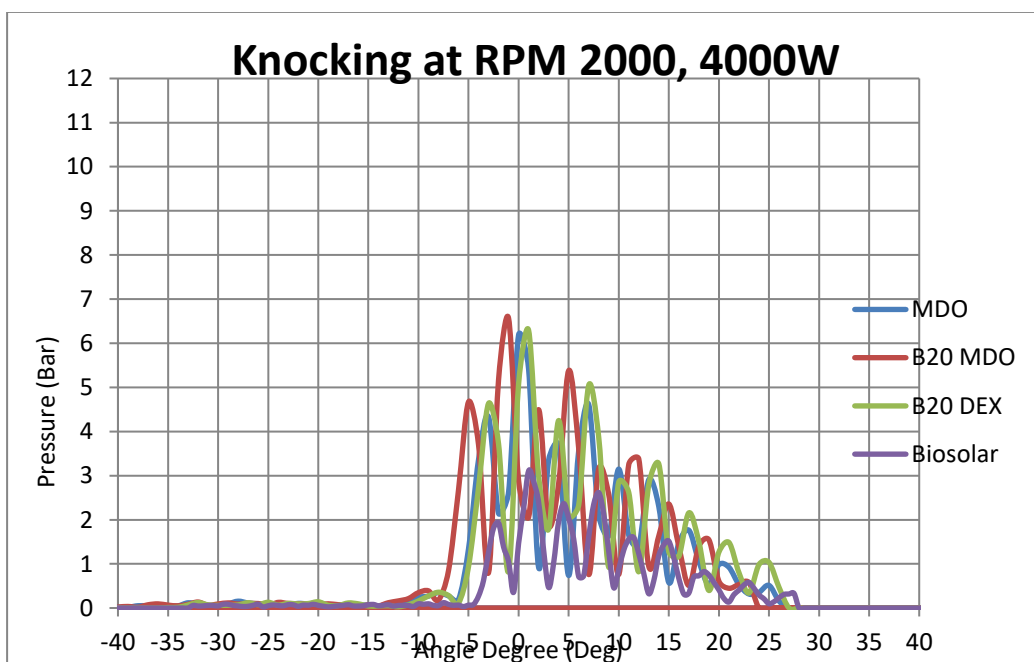
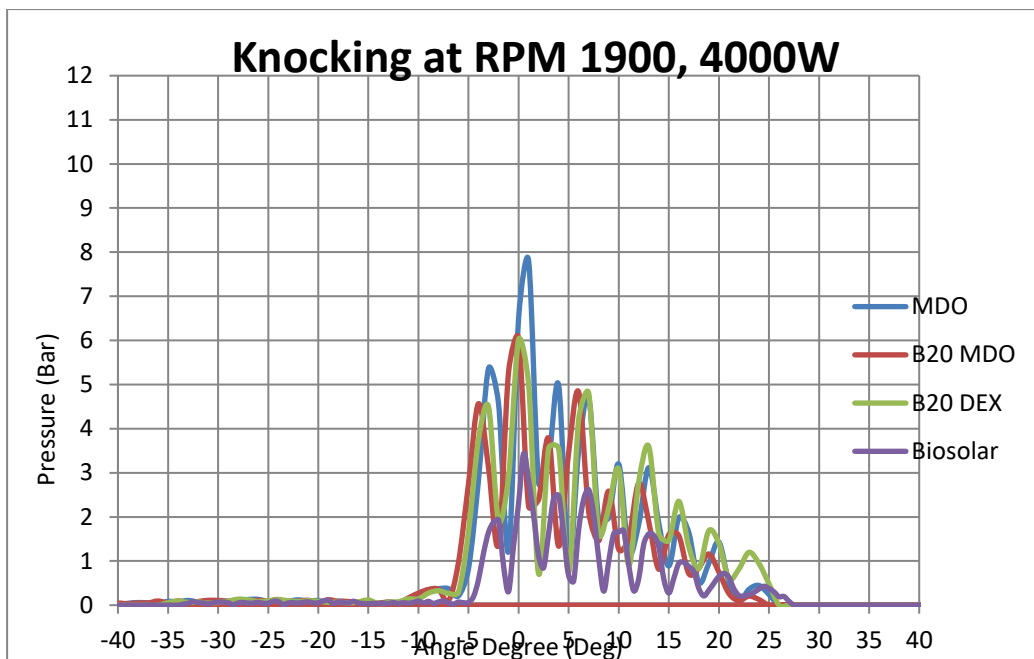


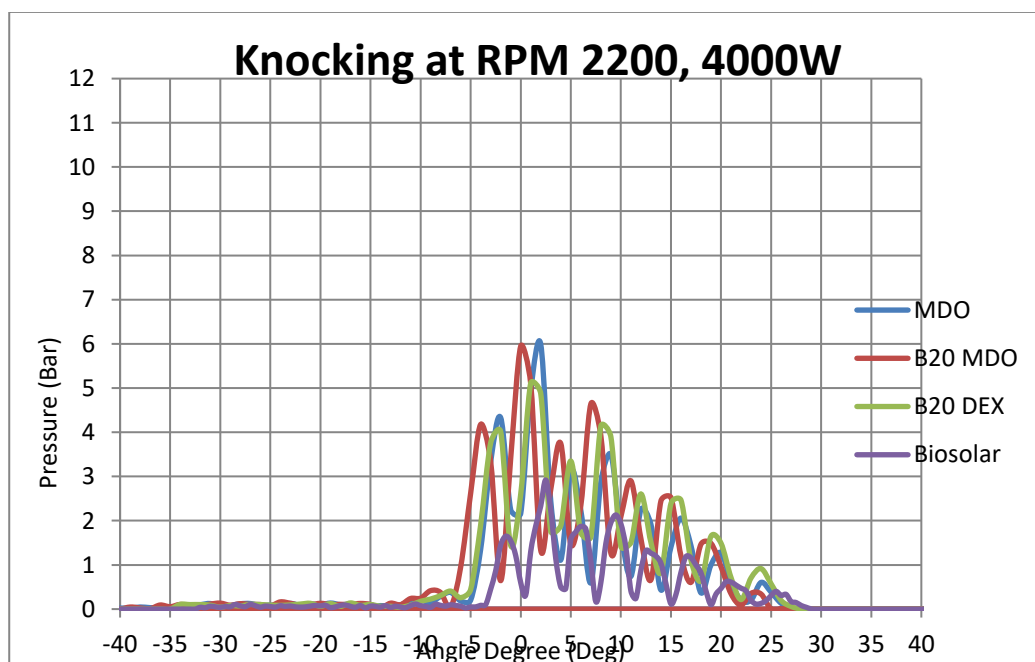
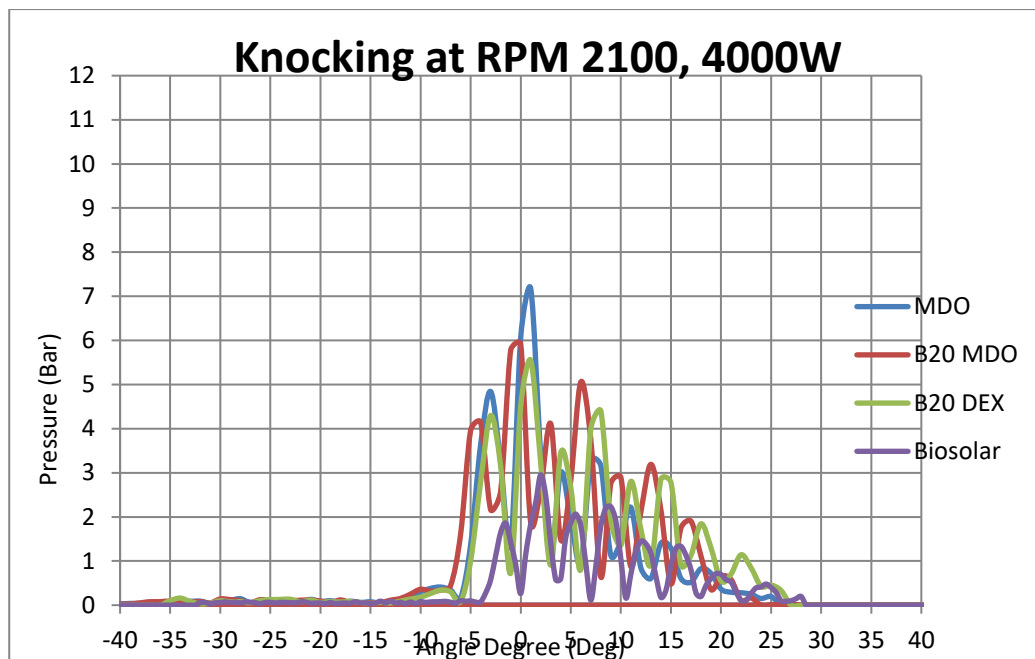




RPM 1800-2200 pembebanan 4000 Watt

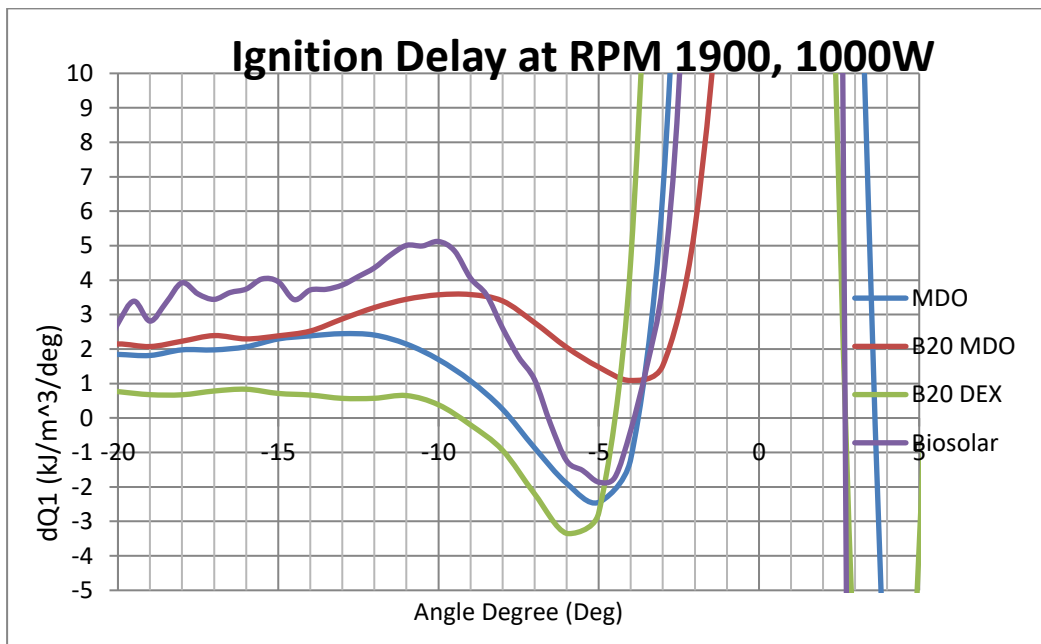
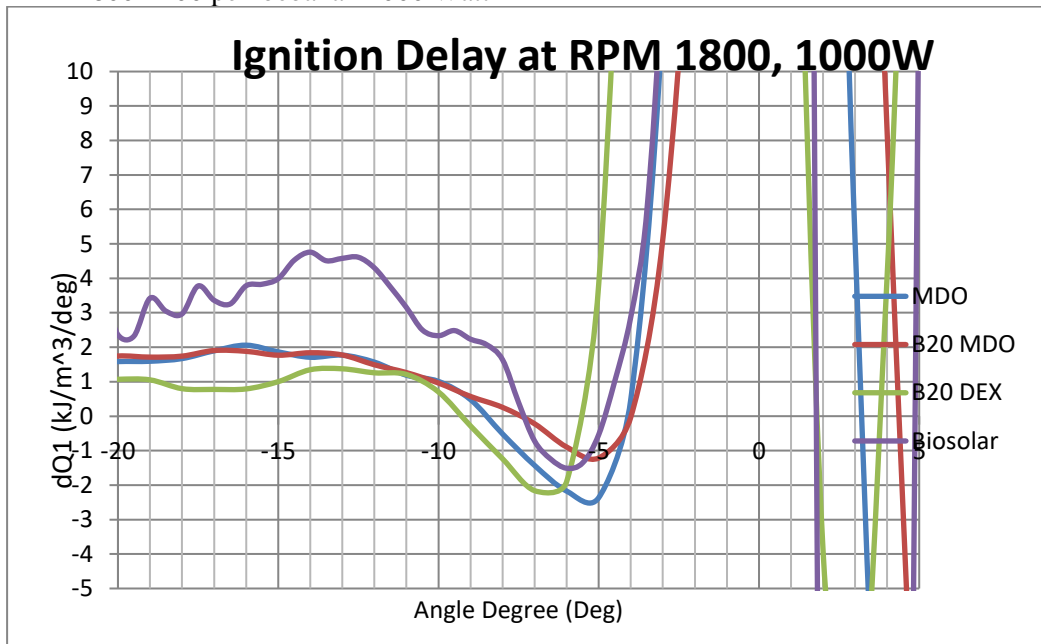




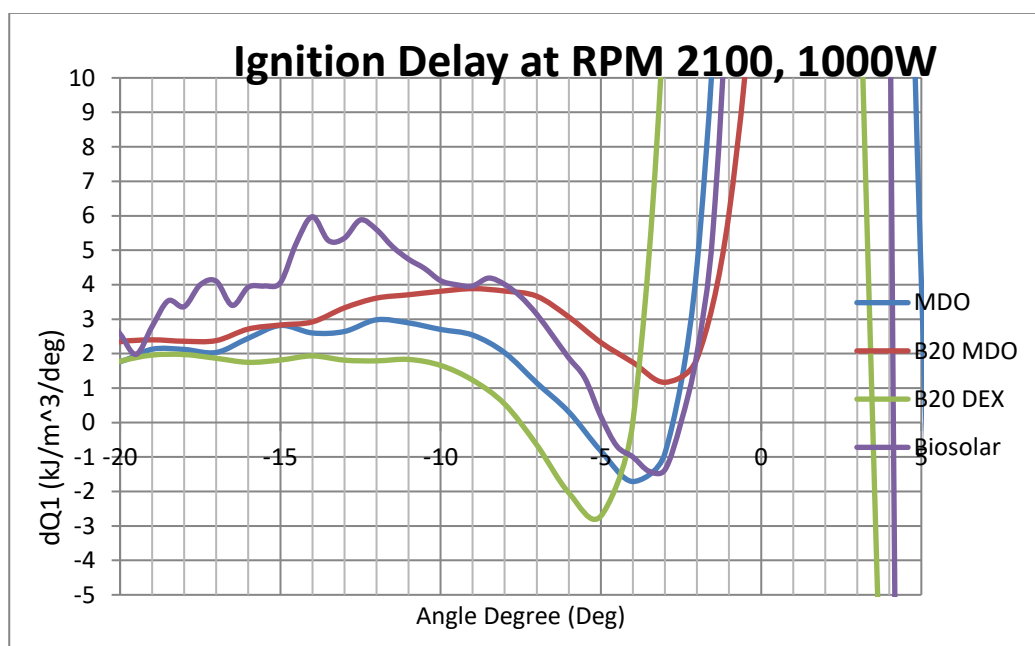
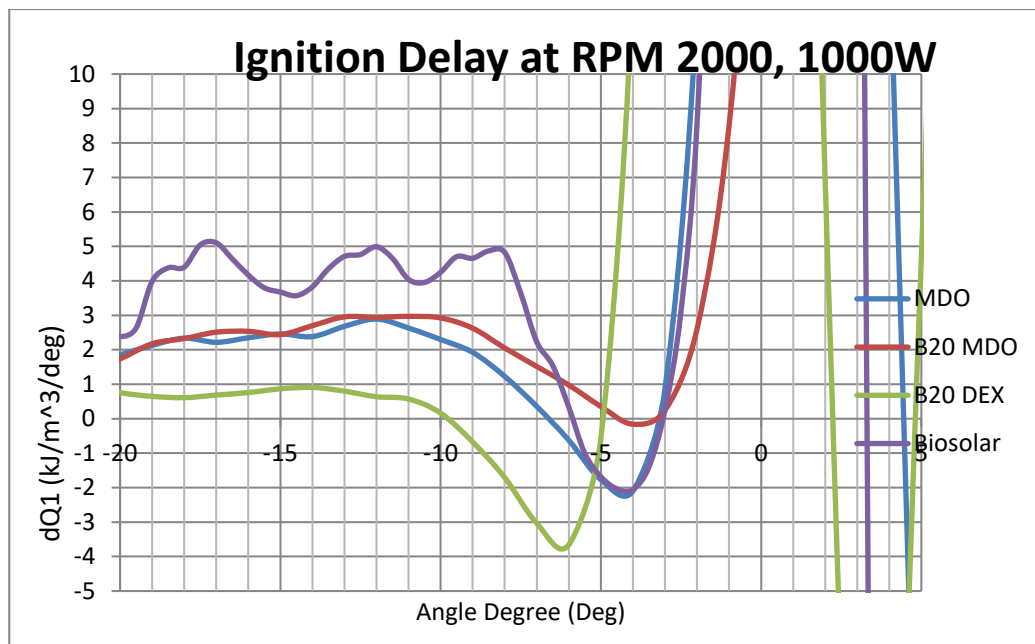


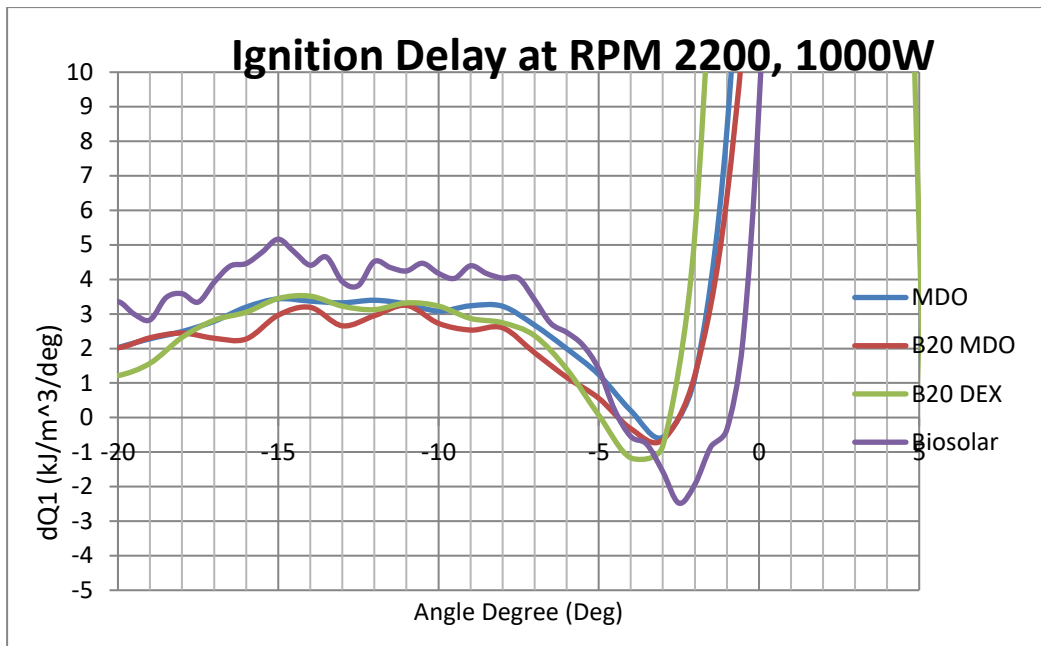
# Grafik *Ignition Delay*

RPM 1800-2200 pembebanan 1000 Watt

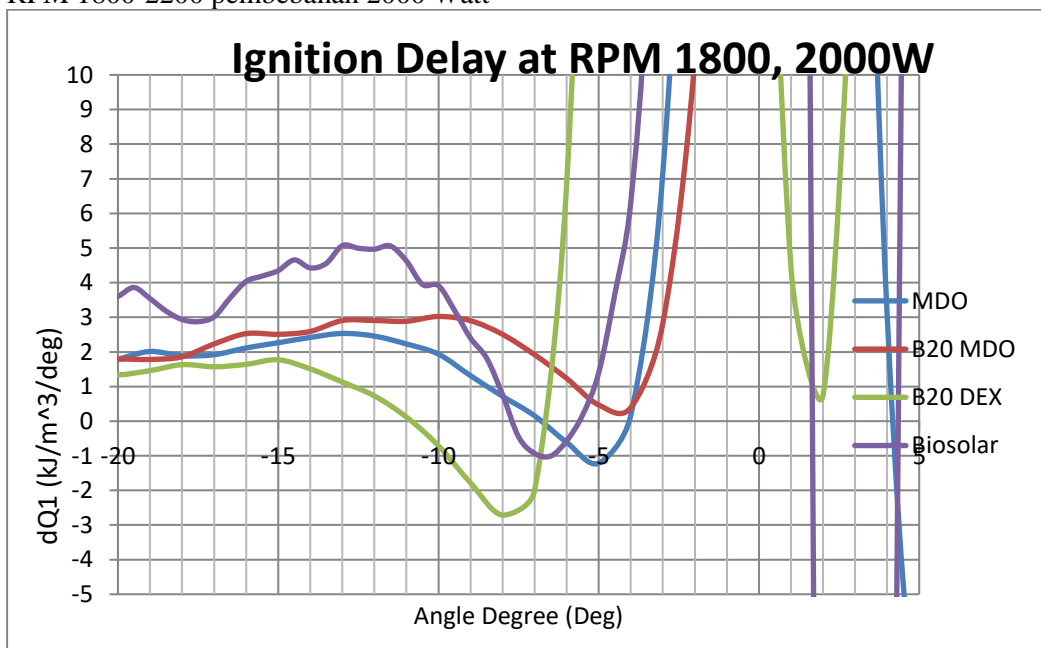


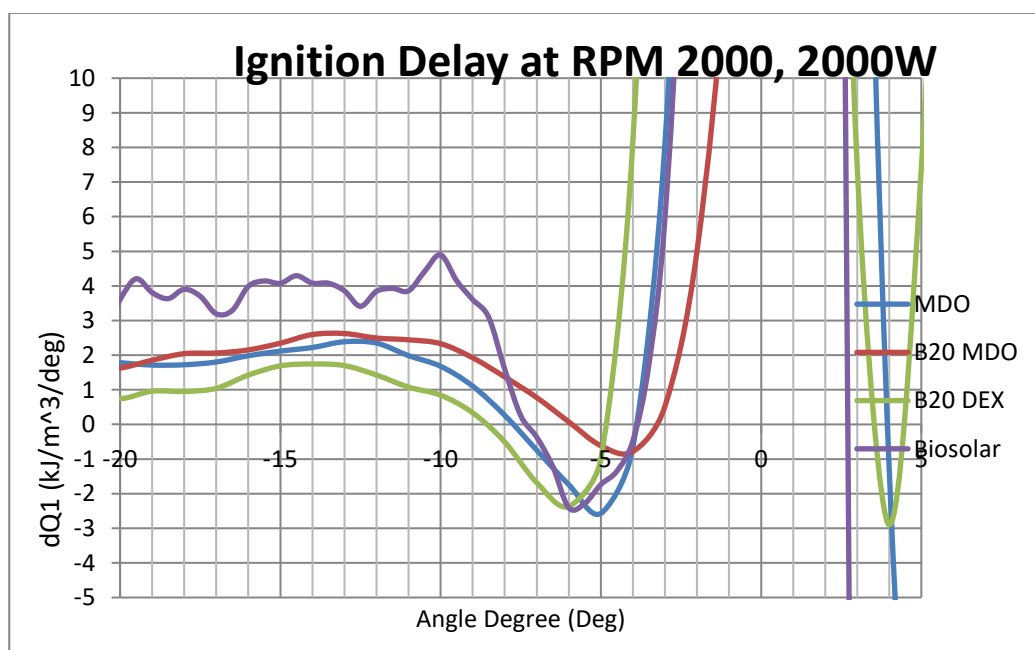
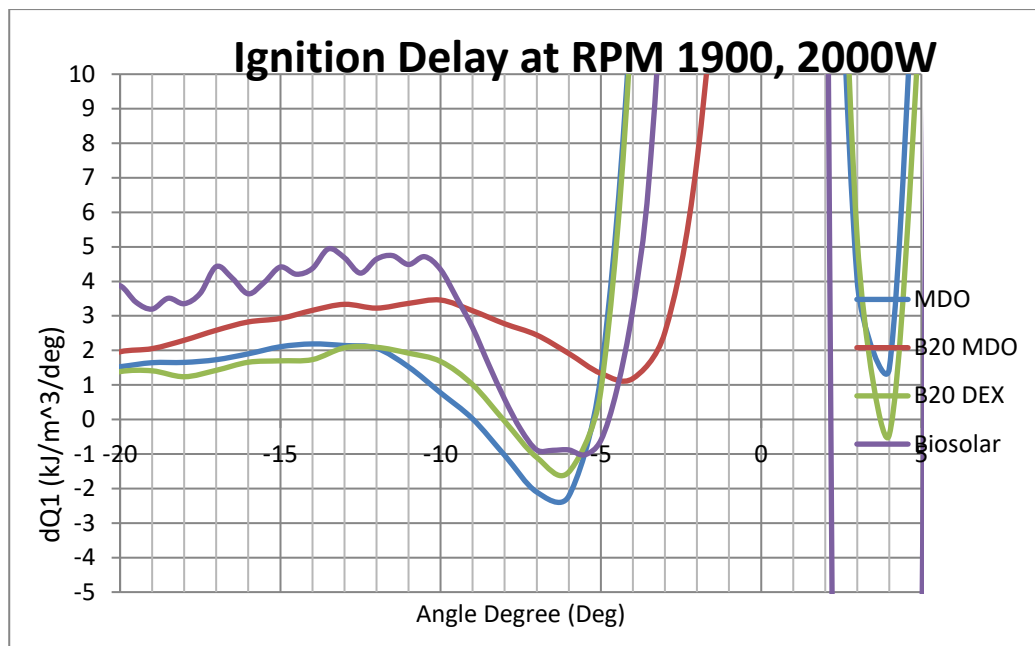


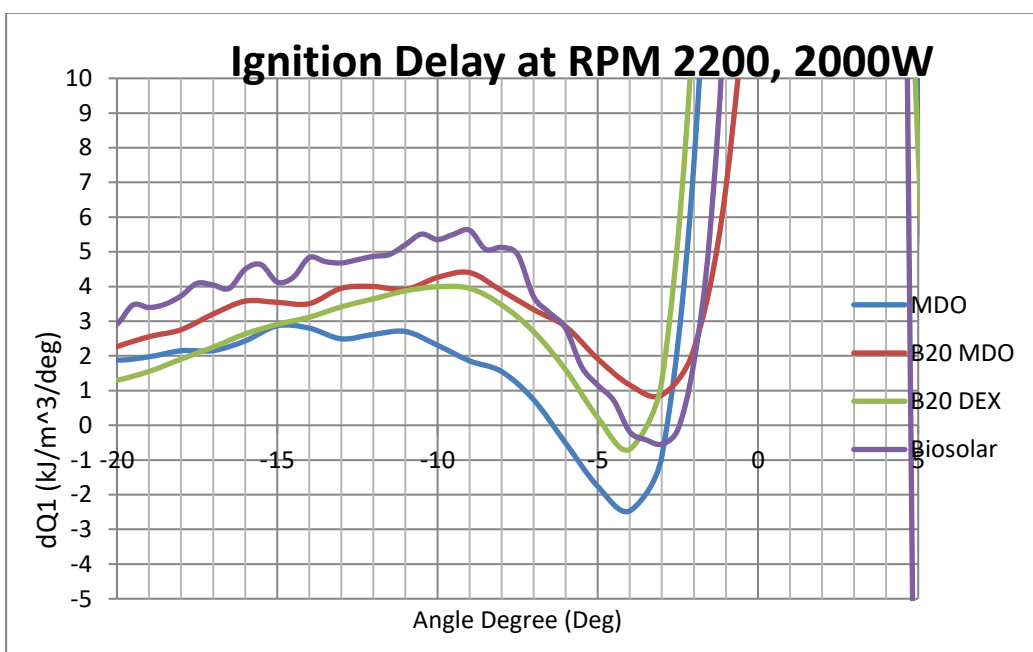
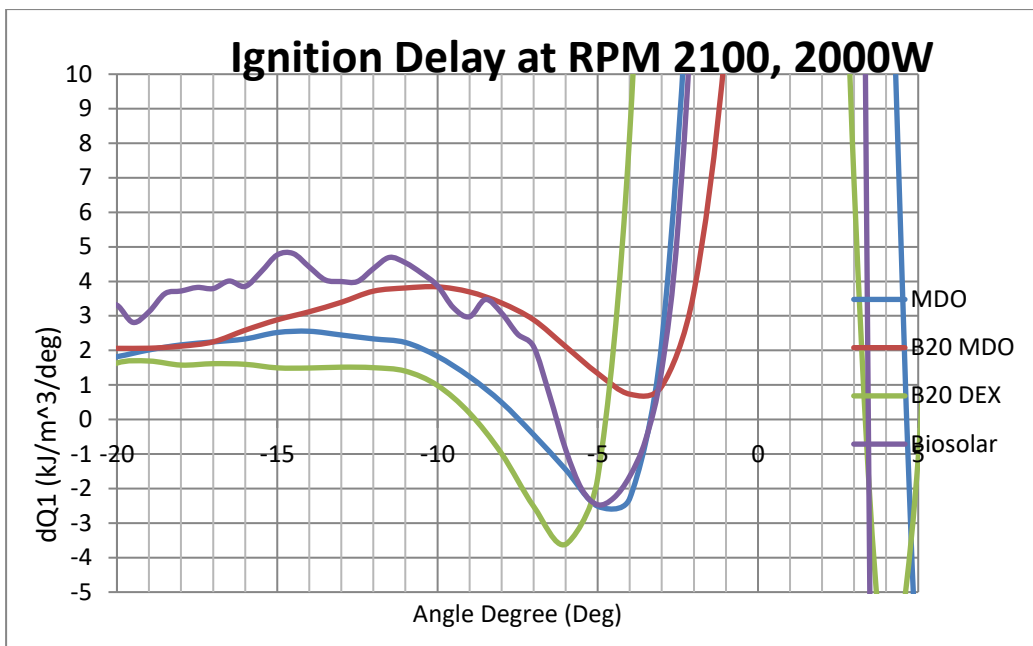




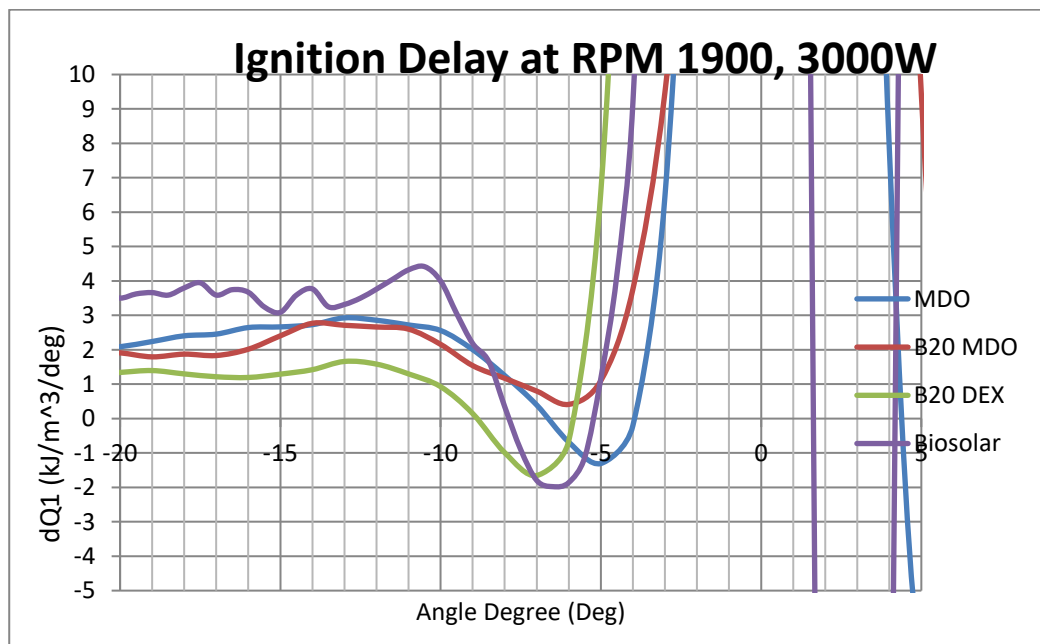
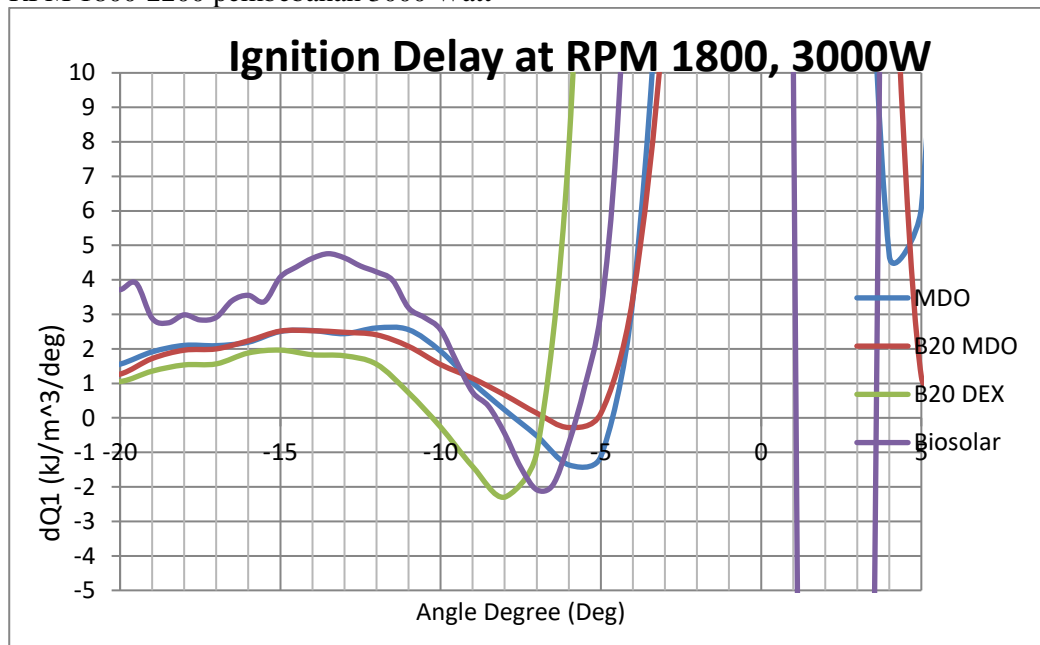
RPM 1800-2200 pembebanan 2000 Watt

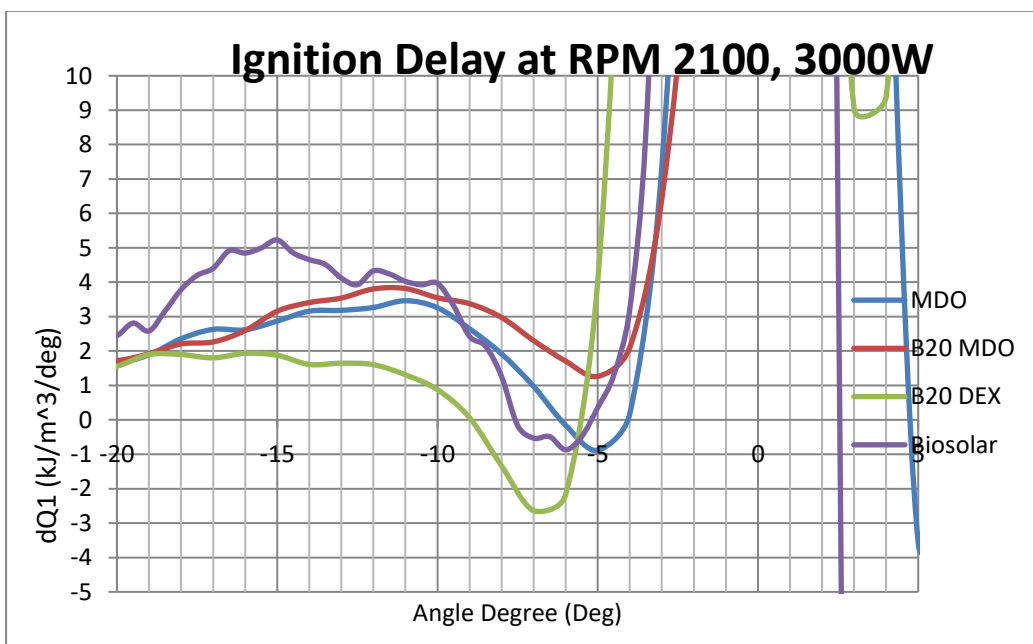
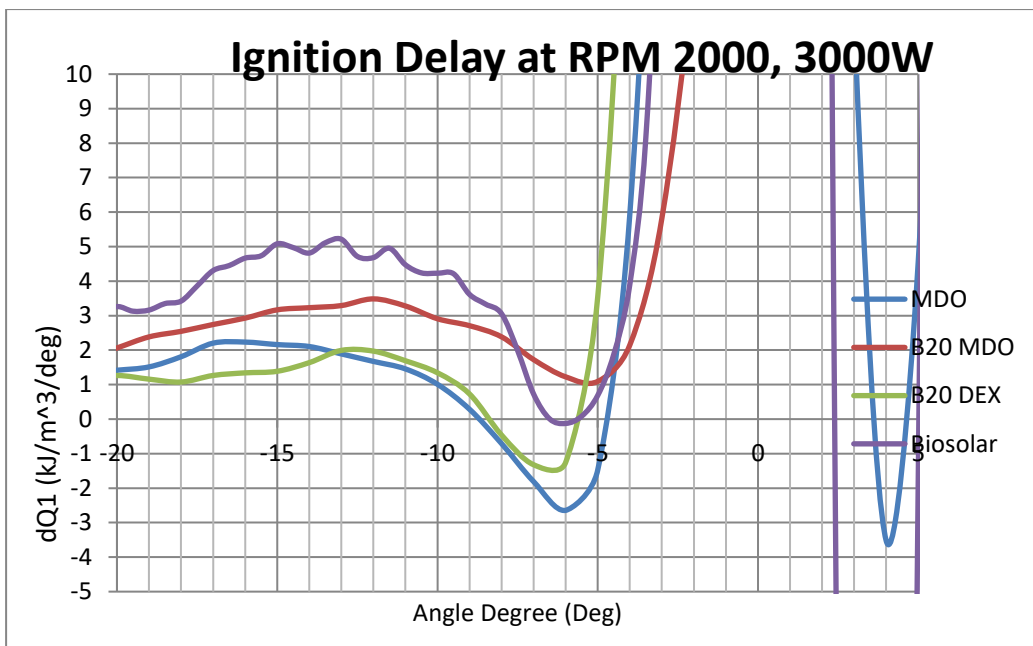


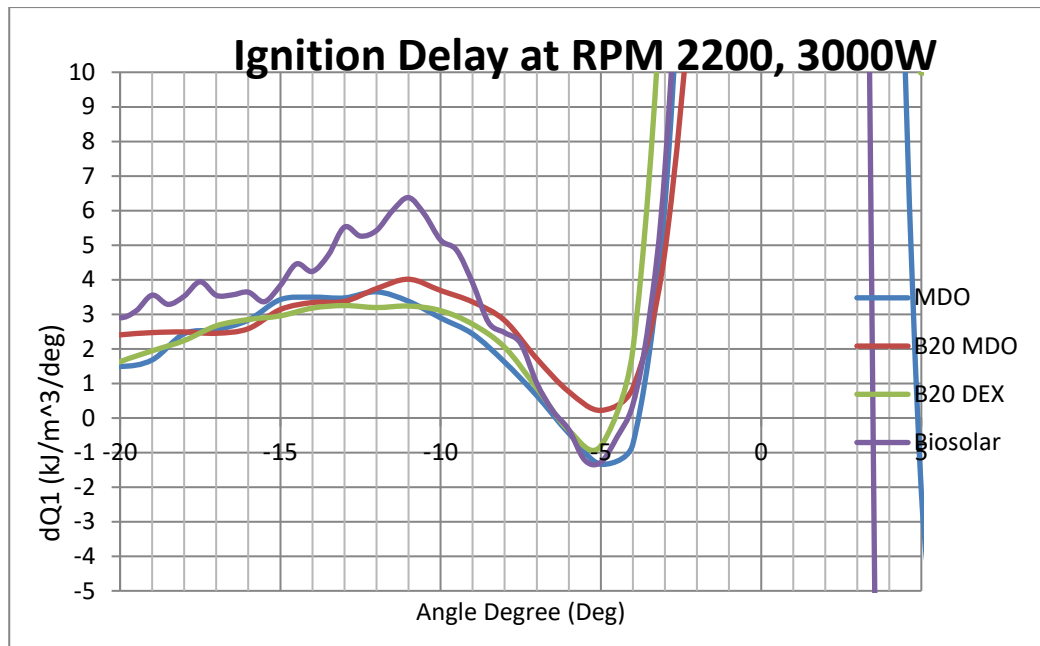




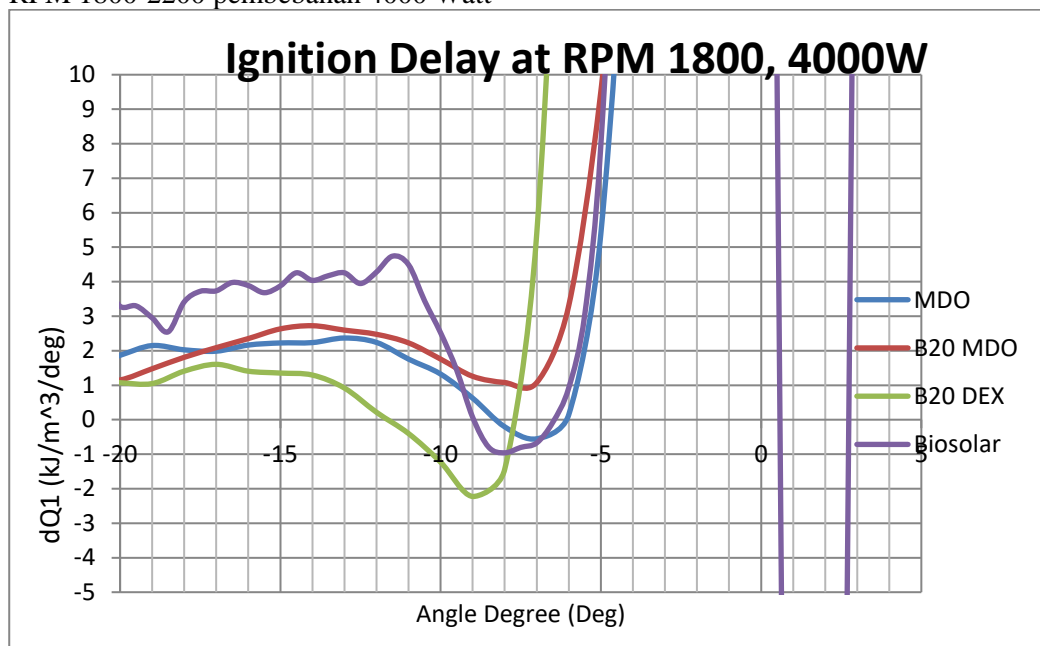
RPM 1800-2200 pembebanan 3000 Watt

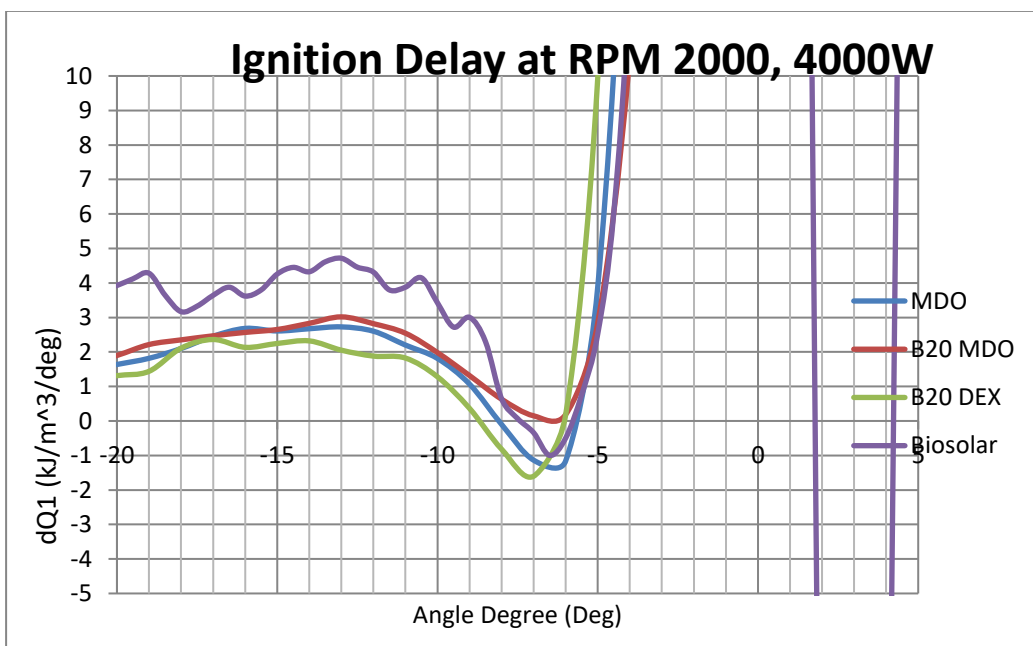
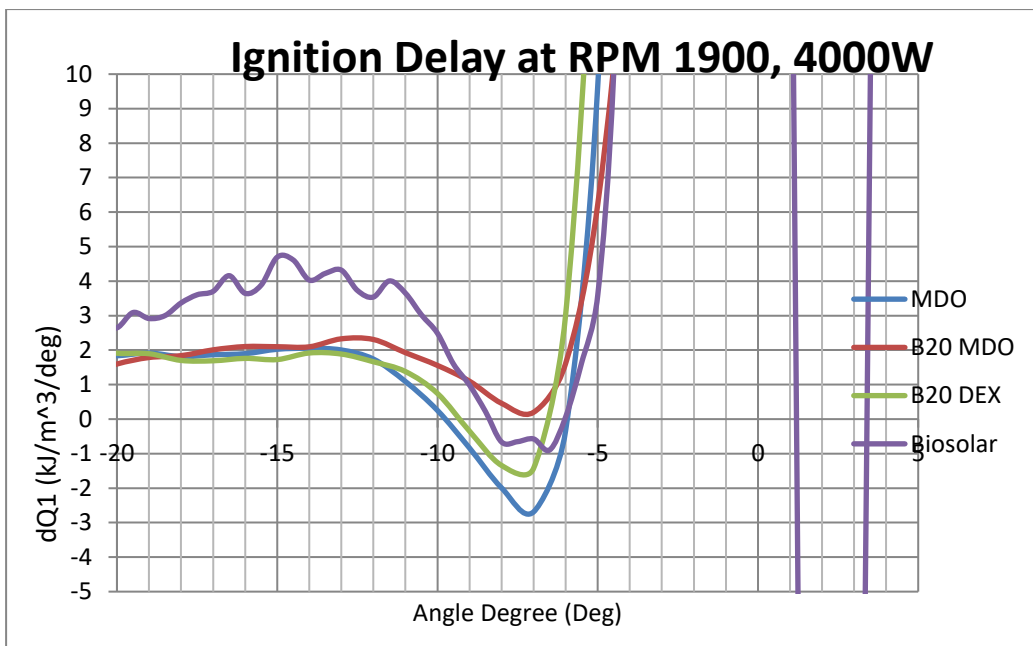




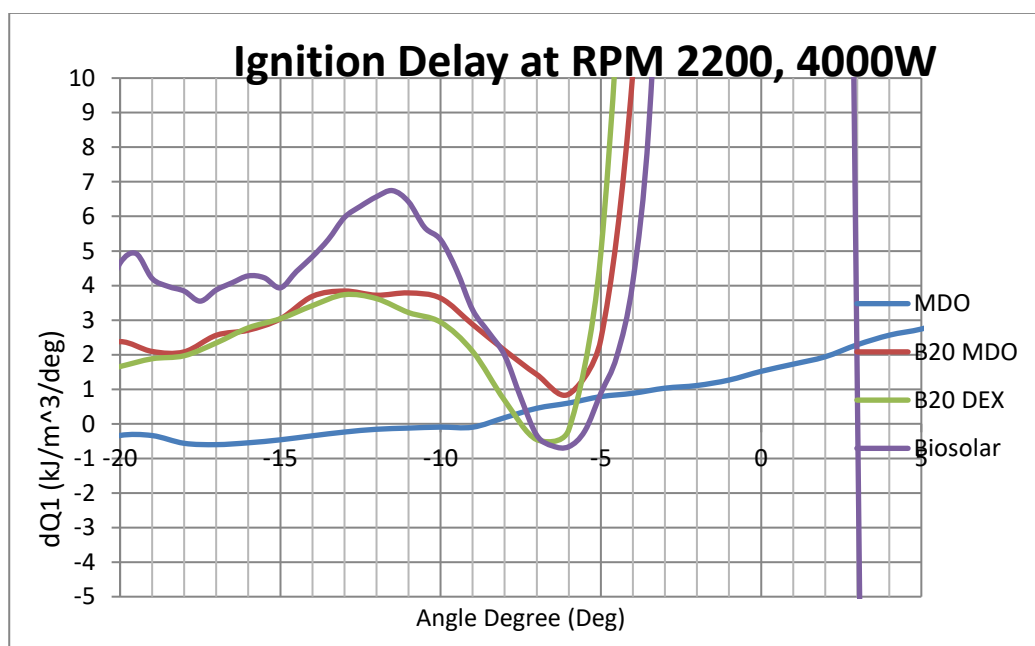
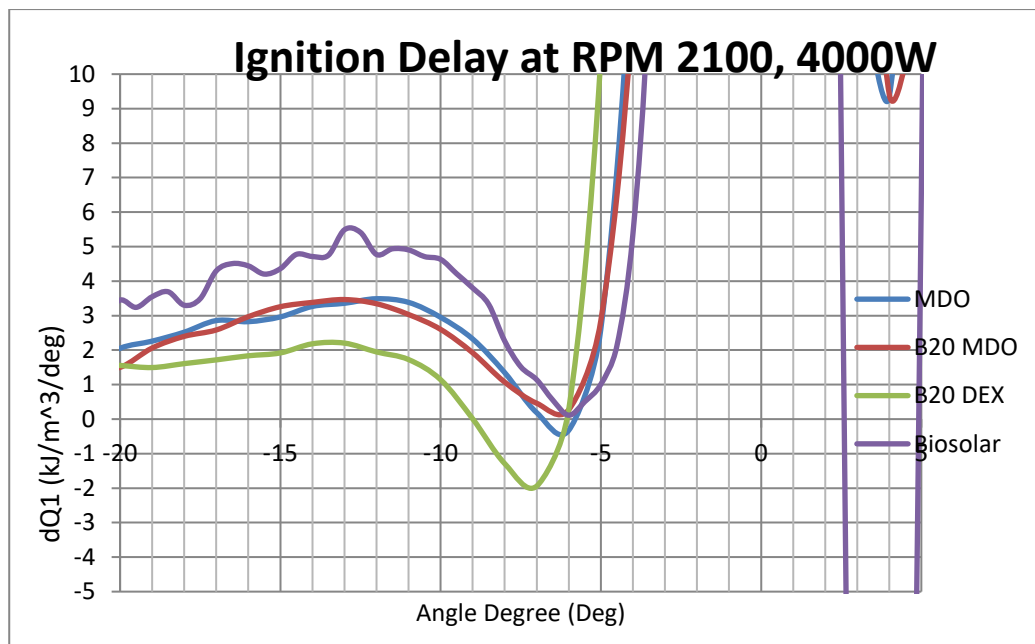


RPM 1800-2200 pembebanan 4000 Watt









## Rumus Perhitungan Performansi

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos $\phi$	: 0.9
Eff Gen	: efisiensi generator (0.85)
Eff Slip	: efisiensi slip (hitung)

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
$\rho$	: massa jenis bahan bakar (gr/m <sup>3</sup> )
v	: volume bahan bakar (m <sup>3</sup> )
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC	: konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
P	: daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m<sup>2</sup>)

P : daya (kW)

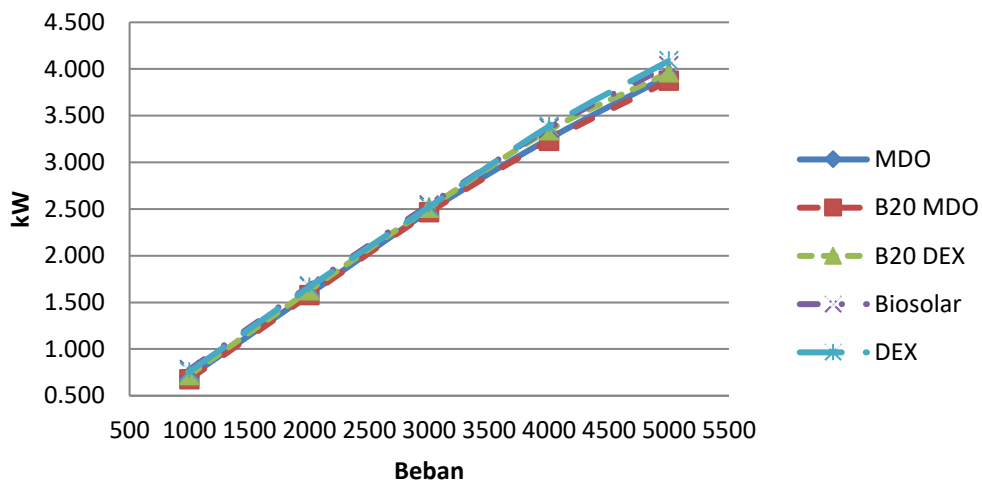
Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m<sup>3</sup>)

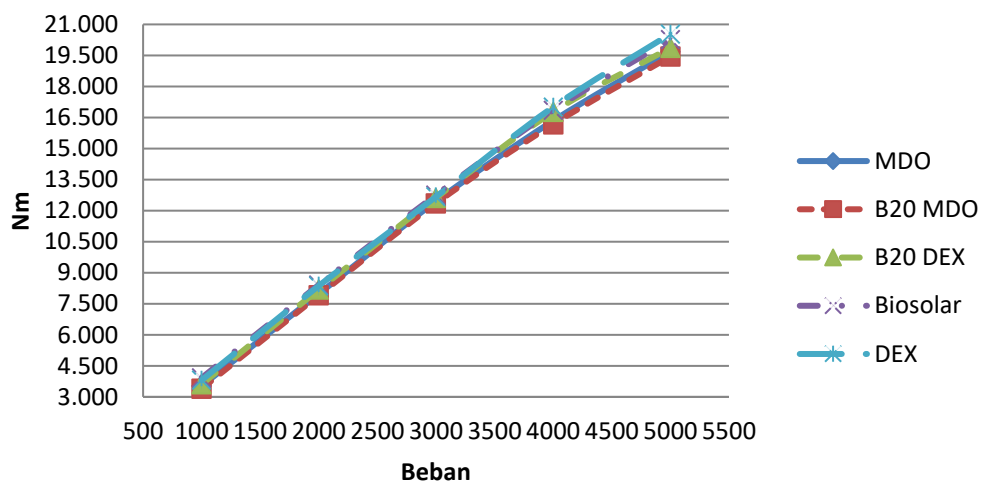
I : jumlah silinder

Grafik performansi bahan bakar pada putaran mesin 1900 RPM

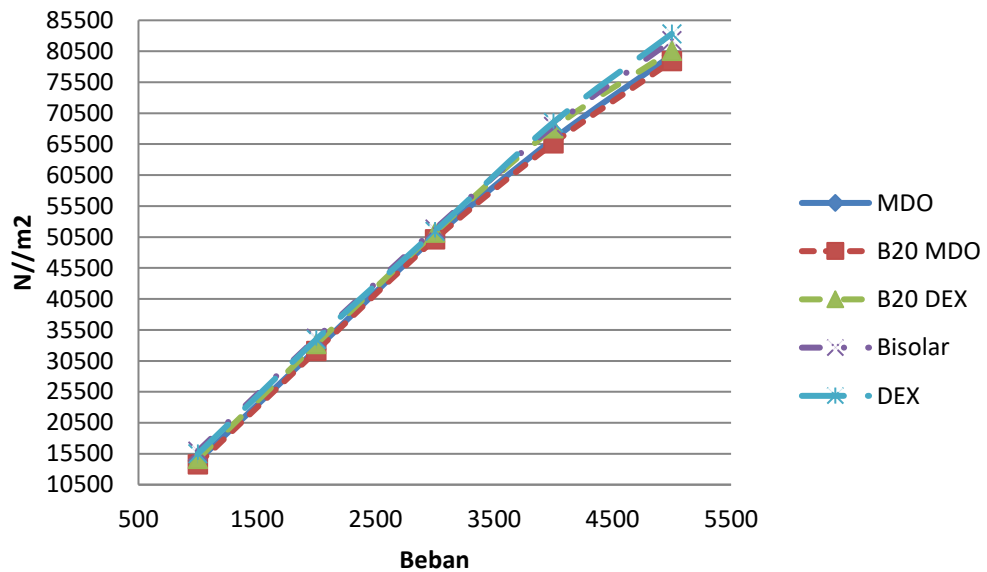
## Power VS Beban



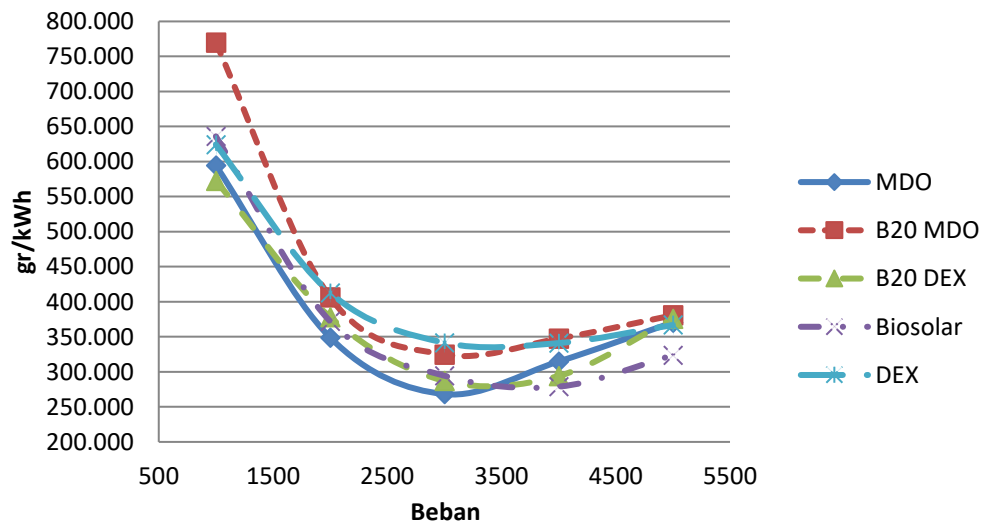
## Torsi VS Beban



## BMEP VS Beban



## SFOC vs Beban



Eff Slip	Power	Power	ρ BB	Vol BB	t (h)	FCR	SFOC	Torsi	Rps	Vol R.Bakar	BMEP
	(Watt)	(kW)	(gr/m3)	(m3)		(gr/h)	(gr/kWh)	(Nm)		(m3)	(N/m2)
0.991	695.643	0.696	815000	0.00002	0.035169444	463.470	666.247	3.690	30.017	0.000493	14970.89194
0.987	1524.043	1.524	815000	0.00002	0.027222222	598.776	392.886	8.085	30.017	0.000493	32798.81898
0.981	2367.214	2.367	815000	0.00002	0.022861111	713.001	301.198	12.530	30.083	0.000493	50831.74038
0.977	3084.651	3.085	815000	0.00002	0.018888889	862.941	279.753	16.328	30.083	0.000493	66237.43826
0.974	3658.130	3.658	815000	0.00002	0.014088889	1156.940	316.265	19.406	30.017	0.000493	78726.34498
0.990	780.570	0.781	815000	0.00002	0.032833333	496.447	636.006	3.921	31.700	0.000493	15906.54257
0.985	1677.719	1.678	815000	0.00002	0.026111111	624.255	372.086	8.414	31.750	0.000493	34134.91689
0.980	2544.978	2.545	815000	0.00002	0.02175	749.425	294.472	12.757	31.767	0.000493	51753.04064
0.973	3365.952	3.366	815000	0.00002	0.017361111	938.880	278.934	16.855	31.800	0.000493	68376.09321
0.972	4037.073	4.037	815000	0.00002	0.012480556	1306.032	323.510	20.268	31.717	0.000493	82224.73241
0.987	874.099	0.874	815000	0.00002	0.032222222	505.862	578.724	4.165	33.417	0.000493	16897.43349
0.985	1890.158	1.890	815000	0.00002	0.020833333	782.400	413.934	9.007	33.417	0.000493	36539.15263
0.981	2847.021	2.847	815000	0.00002	0.016944444	961.967	337.886	13.573	33.400	0.000493	55063.98807
0.979	3719.496	3.719	815000	0.00002	0.013833333	1178.313	316.794	17.759	33.350	0.000493	72046.30658
0.974	4433.971	4.434	815000	0.00002	0.011138889	1463.342	330.030	21.139	33.400	0.000493	85757.03808
0.987	998.770	0.999	815000	0.00002	0.028055556	580.990	581.705	4.533	35.083	0.000493	18390.27452
0.984	2096.475	2.096	815000	0.00002	0.020555556	792.973	378.241	9.511	35.100	0.000493	38583.89282
0.982	3102.383	3.102	815000	0.00002	0.017472222	932.909	300.707	14.115	35.000	0.000493	57259.93751
0.978	4152.889	4.153	815000	0.00002	0.013888889	1173.600	282.598	18.885	35.017	0.000493	76612.38851
0.974	4900.846	4.901	815000	0.00002	0.010277778	1585.946	323.607	22.276	35.033	0.000493	90367.66252
0.990	1056.134	1.056	815000	0.00002	0.025988889	627.191	593.856	4.587	36.667	0.000493	18606.76853
0.983	2223.386	2.223	815000	0.00002	0.019277778	845.533	380.291	9.634	36.750	0.000493	39082.37193
0.979	3336.269	3.336	815000	0.00002	0.016666667	978.000	293.142	14.462	36.733	0.000493	58671.0896
0.971	4507.976	4.508	815000	0.00002	0.012733333	1280.105	283.964	19.577	36.667	0.000493	79420.68552
0.923	5154.338	5.154	815000	0.00002	0.008888889	1833.750	355.768	22.344	36.733	0.000493	90643.35922

## Biosolar

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generator	V	I	Cos 0	BB	t (s)	RPM Generator	Eff generator
									Calculation	
1800	1000	1801	1303	176	3.7	0.9	20ml	126.61	1314.599	0.85
1800	2000	1801	1298	187	7.6	0.9	20ml	98.00	1314.599	0.85
1800	3000	1805	1292	189	11.6	0.9	20ml	82.30	1317.518	0.85
1800	4000	1805	1287	186	15.3	0.9	20ml	68.00	1317.518	0.85
1800	5000	1801	1281	181	18.6	0.9	20ml	50.72	1314.599	0.85
1900	1000	1902	1374	192	3.8	0.9	20ml	118.20	1388.321	0.85
1900	2000	1905	1369	200	7.8	0.9	20ml	94.00	1390.511	0.85
1900	3000	1906	1363	203	11.6	0.9	20ml	78.30	1391.241	0.85
1900	4000	1908	1355	197	15.7	0.9	20ml	62.50	1392.701	0.85
1900	5000	1903	1350	193	19.2	0.9	20ml	44.93	1389.051	0.85
2000	1000	2005	1445	209	3.9	0.9	20ml	116.00	1463.504	0.85
2000	2000	2005	1441	217	8.1	0.9	20ml	75.00	1463.504	0.85
2000	3000	2004	1435	218	12.1	0.9	20ml	61.00	1462.774	0.85
2000	4000	2001	1430	211	16.3	0.9	20ml	49.80	1460.584	0.85
2000	5000	2004	1425	205	19.9	0.9	20ml	40.10	1462.774	0.85
2100	1000	2105	1516	227	4.1	0.9	20ml	101.00	1536.496	0.85
2100	2000	2106	1513	232	8.4	0.9	20ml	74.00	1537.226	0.85
2100	3000	2100	1505	232	12.4	0.9	20ml	62.90	1532.847	0.85
2100	4000	2101	1500	227	16.9	0.9	20ml	50.00	1533.577	0.85
2100	5000	2102	1495	220	20.5	0.9	20ml	37.00	1534.307	0.85
2200	1000	2200	1589	235	4.2	0.9	20ml	93.56	1605.839	0.85
2200	2000	2205	1582	240	8.6	0.9	20ml	69.40	1609.489	0.85
2200	3000	2204	1575	241	12.8	0.9	20ml	60.00	1608.759	0.85
2200	4000	2200	1560	235	17.6	0.9	20ml	45.84	1605.839	0.85
2200	5000	2204	1485	215	20.9	0.9	20ml	32.00	1608.759	0.85

Eff Slip	Power	Power	$\rho$ BB	Vol BB	t (h)	FCR	SFOC	Torsi	Rps	Vol R.Bakar	BMEP
	(Watt)	(kW)	(gr/m3)	(m3)		(gr/h)	(gr/kWh)	(Nm)		(m3)	(N/m2)
0.989	674.261	0.674	830000	0.00001	0.014363889	577.838	856.994	3.573	30.050	0.000493	14494.63438
0.986	1493.851	1.494	830000	0.00001	0.012605556	658.440	440.767	7.920	30.033	0.000493	32131.22568
0.982	2334.311	2.334	830000	0.00001	0.011516667	720.695	308.740	12.370	30.050	0.000493	50180.80535
0.980	3050.195	3.050	830000	0.00001	0.008636111	961.081	315.088	16.163	30.050	0.000493	65570.20525
0.971	3592.366	3.592	830000	0.00001	0.005161111	1608.181	447.666	19.015	30.083	0.000493	77139.71129
0.988	720.080	0.720	830000	0.00001	0.020127778	412.365	572.666	3.611	31.750	0.000493	14650.7629
0.988	1628.888	1.629	830000	0.00001	0.013475	615.955	378.145	8.187	31.683	0.000493	33211.14378
0.977	2513.169	2.513	830000	0.00001	0.011502778	721.565	287.114	12.624	31.700	0.000493	51213.6627
0.977	3344.129	3.344	830000	0.00001	0.008438889	983.542	294.110	16.772	31.750	0.000493	68039.74922
0.965	3962.603	3.963	830000	0.00001	0.005572222	1489.531	375.897	19.863	31.767	0.000493	80580.95047
0.986	788.409	0.788	830000	0.00001	0.016572222	500.838	635.252	3.761	33.383	0.000493	15256.15553
0.984	1809.860	1.810	830000	0.00001	0.013322222	623.019	344.236	8.629	33.400	0.000493	35004.3407
0.984	2811.657	2.812	830000	0.00001	0.010413889	797.013	283.467	13.411	33.383	0.000493	54407.15629
0.975	3707.174	3.707	830000	0.00001	0.007227778	1148.347	309.764	17.674	33.400	0.000493	71700.12471
0.962	4399.994	4.400	830000	0.00001	0.004763889	1742.274	395.972	20.988	33.383	0.000493	85142.39575
0.989	902.984	0.903	830000	0.00001	0.015586111	532.525	589.740	4.106	35.017	0.000493	16658.2237
0.986	1982.239	1.982	830000	0.00001	0.013205556	628.523	317.078	9.001	35.067	0.000493	36516.14582
0.980	3093.142	3.093	830000	0.00001	0.0094	882.979	285.463	14.026	35.117	0.000493	56899.69555
0.974	4040.644	4.041	830000	0.00001	0.005927778	1400.187	346.526	18.366	35.033	0.000493	74506.23422
0.952	4760.545	4.761	830000	0.00001	0.003558333	2332.553	489.976	21.659	35.000	0.000493	87864.22327
0.990	1027.063	1.027	830000	0.00001	0.014055556	590.514	574.954	4.458	36.683	0.000493	18086.38654
0.984	2197.222	2.197	830000	0.00001	0.011072222	749.624	341.169	9.533	36.700	0.000493	38675.09502
0.980	3412.801	3.413	830000	0.00001	0.008527778	973.290	285.188	14.801	36.717	0.000493	60044.20684
0.974	4451.551	4.452	830000	0.00001	0.006094444	1361.896	305.937	19.315	36.700	0.000493	78355.36927
0.934	5135.156	5.135	830000	0.00001	0.004513889	1838.769	358.075	22.250	36.750	0.000493	90265.07857



## B20 DEX

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generator	V	I	Cos 0	BB	t (s)	RPM Generator	Eff generator
									Calculation	
1800	1000	1803	1302	180	3.5	0.9	10ml	51.71	1316.058	0.85
1800	2000	1802	1297	188	7.4	0.9	10ml	45.38	1315.328	0.85
1800	3000	1803	1293	190	11.4	0.9	10ml	41.46	1316.058	0.85
1800	4000	1803	1290	187	15.1	0.9	10ml	31.09	1316.058	0.85
1800	5000	1805	1279	179	18.4	0.9	10ml	18.58	1317.518	0.85
1900	1000	1905	1374	192	3.5	0.9	10ml	72.460	1390.511	0.85
1900	2000	1901	1371	200	7.6	0.9	10ml	48.510	1387.591	0.85
1900	3000	1902	1357	200	11.6	0.9	10ml	41.410	1388.321	0.85
1900	4000	1905	1358	199	15.5	0.9	10ml	30.380	1390.511	0.85
1900	5000	1906	1342	190	19	0.9	10ml	20.060	1391.241	0.85
2000	1000	2003	1442	204	3.6	0.9	10ml	59.66	1462.044	0.85
2000	2000	2004	1440	213	7.9	0.9	10ml	47.96	1462.774	0.85
2000	3000	2003	1439	216	12.1	0.9	10ml	37.49	1462.044	0.85
2000	4000	2004	1426	212	16.1	0.9	10ml	26.02	1462.774	0.85
2000	5000	2003	1407	203	19.7	0.9	10ml	17.15	1462.044	0.85
2100	1000	2101	1517	222	3.8	0.9	10ml	56.11	1533.577	0.85
2100	2000	2104	1515	228	8.1	0.9	10ml	47.54	1535.766	0.85
2100	3000	2107	1507	229	12.5	0.9	10ml	33.84	1537.956	0.85
2100	4000	2102	1495	224	16.6	0.9	10ml	21.34	1534.307	0.85
2100	5000	2100	1460	212	20.2	0.9	10ml	12.81	1532.847	0.85
2200	1000	2201	1590	240	4	0.9	10ml	50.6	1606.569	0.85
2200	2000	2202	1581	243	8.4	0.9	10ml	39.86	1607.299	0.85
2200	3000	2203	1576	243	13	0.9	10ml	30.7	1608.029	0.85
2200	4000	2202	1565	238	17.2	0.9	10ml	21.94	1607.299	0.85
2200	5000	2205	1504	220	20.6	0.9	10ml	16.25	1609.489	0.85

Eff Slip	Power	Power	ρ BB	Vol BB	t (h)	FCR	SFOC	Torsi	Rps	Vol R.Bakar	BMEP
	(Watt)	(kW)	(gr/m3)	(m3)		(gr/h)	(gr/kWh)	(Nm)		(m3)	(N/m2)
0.989	647.664	0.648	890000	0.00001	0.023675	375.924	580.431	3.424	30.117	0.000493	13892.04263
0.987	1455.924	1.456	890000	0.00001	0.019175	464.146	318.798	7.706	30.083	0.000493	31263.40001
0.985	2243.751	2.244	890000	0.00001	0.014483333	614.499	273.872	11.890	30.050	0.000493	48234.02744
0.981	2954.032	2.954	890000	0.00001	0.0096	927.083	313.837	15.636	30.083	0.000493	63432.61544
0.971	3533.467	3.533	890000	0.00001	0.007	1271.429	359.825	18.703	30.083	0.000493	75874.97228
0.983	705.289	0.705	890000	0.00001	0.021230556	419.207	594.376	3.535	31.767	0.000493	14342.3011
0.984	1589.647	1.590	890000	0.00001	0.016041667	554.805	349.012	7.981	31.717	0.000493	32377.00517
0.982	2478.717	2.479	890000	0.00001	0.013386111	664.868	268.231	12.451	31.700	0.000493	50511.60464
0.976	3253.282	3.253	890000	0.00001	0.008691667	1023.969	314.750	16.342	31.700	0.000493	66295.78335
0.968	3929.176	3.929	890000	0.00001	0.006113889	1455.702	370.485	19.685	31.783	0.000493	79859.30182
0.988	779.058	0.779	890000	0.00001	0.01965	452.926	581.376	3.716	33.383	0.000493	15075.22222
0.986	1767.030	1.767	890000	0.00001	0.014644444	607.739	343.933	8.416	33.433	0.000493	34141.89044
0.982	2768.663	2.769	890000	0.00001	0.012472222	713.586	257.737	13.187	33.433	0.000493	53495.07897
0.974	3611.115	3.611	890000	0.00001	0.007933333	1121.849	310.665	17.208	33.417	0.000493	69807.41955
0.962	4312.415	4.312	890000	0.00001	0.005777778	1540.385	357.198	20.570	33.383	0.000493	83447.68076
0.989	894.849	0.895	890000	0.00001	0.017558333	506.882	566.444	4.069	35.017	0.000493	16508.14961
0.987	1964.488	1.964	890000	0.00001	0.014216667	626.026	318.671	8.916	35.083	0.000493	36171.95287
0.981	3023.589	3.024	890000	0.00001	0.010233333	869.707	287.641	13.750	35.017	0.000493	55779.07706
0.975	3954.437	3.954	890000	0.00001	0.007622222	1167.638	295.273	17.983	35.017	0.000493	72951.34938
0.950	4654.089	4.654	890000	0.00001	0.00585	1521.368	326.888	21.144	35.050	0.000493	85776.84205
0.990	976.352	0.976	890000	0.00001	0.013925	639.138	654.619	4.238	36.683	0.000493	17193.37121
0.986	2147.341	2.147	890000	0.00001	0.011730556	758.702	353.322	9.325	36.667	0.000493	37831.45354
0.980	3319.118	3.319	890000	0.00001	0.009630556	924.142	278.430	14.375	36.767	0.000493	58316.56193
0.973	4301.989	4.302	890000	0.00001	0.006497222	1369.816	318.415	18.683	36.667	0.000493	75791.63635
0.937	5021.555	5.022	890000	0.00001	0.004680556	1901.484	378.664	21.798	36.683	0.000493	88428.62671

## Minyak MDO

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generator	V	I	Cos 0	BB	t (s)	RPM Generator	Eff generator
									Calculation	
1800	1000	1807	1305	178	3.4	0.9	10ml	85.23	1318.978	0.85
1800	2000	1805	1301	186	7.3	0.9	10ml	69.03	1317.518	0.85
1800	3000	1803	1296	188	11.1	0.9	10ml	52.14	1316.058	0.85
1800	4000	1805	1293	185	14.8	0.9	10ml	34.56	1317.518	0.85
1800	5000	1805	1279	178	18.2	0.9	10ml	25.2	1317.518	0.85
1900	1000	1906	1367	187	3.5	0.9	10ml	76.430	1391.241	0.85
1900	2000	1903	1367	197	7.5	0.9	10ml	57.750	1389.051	0.85
1900	3000	1902	1364	200	11.5	0.9	10ml	48.190	1388.321	0.85
1900	4000	1902	1355	196	15.3	0.9	10ml	31.290	1388.321	0.85
1900	5000	1907	1347	190	18.9	0.9	10ml	22.010	1391.971	0.85
2000	1000	2003	1445	202	3.6	0.9	10ml	70.74	1462.044	0.85
2000	2000	2006	1444	211	7.8	0.9	10ml	52.72	1464.234	0.85
2000	3000	2006	1438	214	12	0.9	10ml	44.9	1464.234	0.85
2000	4000	2005	1426	209	15.9	0.9	10ml	28.56	1463.504	0.85
2000	5000	2003	1407	201	19.5	0.9	10ml	20.8	1462.044	0.85
2100	1000	2101	1517	220	3.8	0.9	10ml	63.21	1533.577	0.85
2100	2000	2105	1516	226	8.1	0.9	10ml	51.18	1536.496	0.85
2100	3000	2101	1505	226	12.4	0.9	10ml	36.84	1533.577	0.85
2100	4000	2101	1495	222	16.4	0.9	10ml	27.44	1533.577	0.85
2100	5000	2103	1459	211	19.8	0.9	10ml	21.06	1535.036	0.85
2200	1000	2201	1590	234	3.9	0.9	10ml	50.13	1606.569	0.85
2200	2000	2200	1583	238	8.4	0.9	10ml	42.23	1605.839	0.85
2200	3000	2206	1578	240	12.8	0.9	10ml	34.67	1610.219	0.85
2200	4000	2200	1563	234	16.9	0.9	10ml	23.39	1605.839	0.85
2200	5000	2201	1506	219	20.3	0.9	10ml	16.85	1606.569	0.85

Eff Slip	Power	Power	p BB	Vol BB	t (h)	FCR	SFOC	Torsi	Rps	Vol R.Bakar	BMEP
	(Watt)	(kW)	(gr/m3)	(m3)		(gr/h)	(gr/kWh)	(Nm)		(m3)	(N/m2)
0.990	610.801	0.611	886000	0.00001	0.020266667	437.171	715.734	3.240	30.017	0.000493	13144.99563
0.989	1418.482	1.418	886000	0.00001	0.016183333	547.477	385.960	7.525	30.017	0.000493	30527.03796
0.983	2224.059	2.224	886000	0.00001	0.012244444	723.593	325.348	11.772	30.083	0.000493	47757.7496
0.980	2906.849	2.907	886000	0.00001	0.009275	955.256	328.623	15.386	30.083	0.000493	62419.44198
0.967	3469.416	3.469	886000	0.00001	0.007175	1234.843	355.923	18.405	30.017	0.000493	74665.04342
0.989	677.072	0.677	886000	0.00001	0.017002778	521.091	769.625	3.401	31.700	0.000493	13797.45619
0.987	1577.470	1.577	886000	0.00001	0.013825	640.868	406.263	7.911	31.750	0.000493	32095.26183
0.983	2464.284	2.464	886000	0.00001	0.011069444	800.402	324.801	12.353	31.767	0.000493	50112.09034
0.977	3230.295	3.230	886000	0.00001	0.007894444	1122.308	347.432	16.175	31.800	0.000493	65620.33611
0.966	3873.403	3.873	886000	0.00001	0.006008333	1474.619	380.704	19.447	31.717	0.000493	78891.20588
0.985	777.590	0.778	886000	0.00001	0.015733333	563.136	724.206	3.705	33.417	0.000493	15031.8003
0.985	1760.216	1.760	886000	0.00001	0.010663889	830.841	472.011	8.388	33.417	0.000493	34027.20963
0.980	2737.651	2.738	886000	0.00001	0.009219444	961.012	351.035	13.052	33.400	0.000493	52948.677
0.977	3578.735	3.579	886000	0.00001	0.006847222	1293.955	361.568	17.087	33.350	0.000493	69319.76784
0.957	4270.316	4.270	886000	0.00001	0.005238889	1691.198	396.036	20.359	33.400	0.000493	82591.80711
0.989	939.820	0.940	886000	0.00001	0.014133333	626.887	667.029	4.266	35.083	0.000493	17304.81859
0.985	1968.018	1.968	886000	0.00001	0.010402778	851.696	432.768	8.928	35.100	0.000493	36219.73617
0.980	3003.765	3.004	886000	0.00001	0.008125	1090.462	363.032	13.666	35.000	0.000493	55439.75693
0.972	3985.580	3.986	886000	0.00001	0.006388889	1386.783	347.950	18.124	35.017	0.000493	73525.86496
0.916	4807.772	4.808	886000	0.00001	0.004675	1895.187	394.192	21.853	35.033	0.000493	88651.45346
0.988	1015.680	1.016	886000	0.00001	0.012994444	681.830	671.303	4.411	36.667	0.000493	17894.0691
0.985	2176.600	2.177	886000	0.00001	0.009638889	919.193	422.307	9.431	36.750	0.000493	38259.98203
0.978	3298.563	3.299	886000	0.00001	0.007897222	1121.913	340.122	14.299	36.733	0.000493	58008.00563
0.970	4334.239	4.334	886000	0.00001	0.006366667	1391.623	321.077	18.823	36.667	0.000493	76359.80544
0.896	5106.396	5.106	886000	0.00001	0.004152778	2133.512	417.812	22.136	36.733	0.000493	89800.2575

## B20 MDO

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generator	V	I	Cos 0	BB	t (s)	RPM Generator	Eff generator
									Calculation	
1800	1000	1801	1301	173	3.3	0.9	10ml	72.96	1314.599	0.85
1800	2000	1801	1300	184	7.2	0.9	10ml	58.26	1314.599	0.85
1800	3000	1805	1295	186	11.1	0.9	10ml	44.08	1317.518	0.85
1800	4000	1805	1291	183	14.7	0.9	10ml	33.39	1317.518	0.85
1800	5000	1801	1271	176	18	0.9	10ml	25.83	1314.599	0.85
1900	1000	1902	1373	186	3.4	0.9	10ml	61.21	1388.321	0.85
1900	2000	1905	1372	196	7.5	0.9	10ml	49.77	1390.511	0.85
1900	3000	1906	1368	199	11.5	0.9	10ml	39.85	1391.241	0.85
1900	4000	1908	1360	196	15.2	0.9	10ml	28.42	1392.701	0.85
1900	5000	1903	1342	189	18.7	0.9	10ml	21.63	1389.051	0.85
2000	1000	2005	1442	201	3.6	0.9	10ml	56.64	1463.504	0.85
2000	2000	2005	1442	210	7.8	0.9	10ml	38.39	1463.504	0.85
2000	3000	2004	1434	213	11.9	0.9	10ml	33.19	1462.774	0.85
2000	4000	2001	1427	209	15.8	0.9	10ml	24.65	1460.584	0.85
2000	5000	2004	1400	200	19.3	0.9	10ml	18.86	1462.774	0.85
2100	1000	2105	1519	225	3.9	0.9	10ml	50.88	1536.496	0.85
2100	2000	2106	1514	226	8.1	0.9	10ml	37.45	1537.226	0.85
2100	3000	2100	1502	226	12.3	0.9	10ml	29.25	1532.847	0.85
2100	4000	2101	1490	223	16.4	0.9	10ml	23	1533.577	0.85
2100	5000	2102	1405	210	19.8	0.9	10ml	16.83	1534.307	0.85
2200	1000	2200	1587	237	4	0.9	10ml	46.78	1605.839	0.85
2200	2000	2205	1585	241	8.4	0.9	10ml	34.7	1609.489	0.85
2200	3000	2204	1574	240	12.7	0.9	10ml	28.43	1608.759	0.85
2200	4000	2200	1558	235	16.9	0.9	10ml	22.92	1605.839	0.85
2200	5000	2204	1442	214	20.2	0.9	10ml	14.95	1608.759	0.85

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Penulis, Aloysius Prayoga Sidauruk lahir di Medan pada tanggal 23 Mei 1995, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal mulai dari TK St. Antonius 1, SD St. Ignatius dan SMP St. Thomas 1 di kota Medan. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAK St. Albertus Malang. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS pada tahun 2013 dan terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 4213 100 112. Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil bidang studi Marine Power Plan (MPP). Selain mengikuti perkuliahan, penulis juga tercatat sebagai member di Laboratorium Marine Power Plan (MPP).

Penulis juga pernah aktif di organisasi Tim Pembina Kerohanian Katolik-Keluarga Mahasiswa Katolik St. Ignatius ITS sebagai Staff Departemen Minat Bakat periode 2014/2015 dan Kepala Biro Mahasiswa, Alumni dan Dosen periode 2015/2016 di bawah naungan Departemen Eksternal. Penulis melaksanakan kerja praktek pertama di PT. Jasa Armada Indonesia selama satu bulan dan kerja praktek kedua di PT. Altrak 1978 Bintaro selama dua bulan.

